

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальних технологій



## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт

з дисципліни

«ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ ТА КІЛ»

(частина 2)

для студентів спеціальності

152 - Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Дніпро  
2019

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія електричних сигналів та кіл» для студентів які навчаються за спеціальністю 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка/ Упорядн.: Н.В. Глухова, М.А. Дороніна – Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2019. – 51 с.

**Упорядники:** Н.В. Глухова, кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій; М.А. Дороніна, старший викладач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій

Відповідальний за випуск завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій В.І. Корсун, доктор технічних наук, професор

## ВСТУП

Методичні вказівки розроблені для виконання лабораторних робіт студентів спеціальності 152 «Метрологія та вимірювальна техніка» під час вивчення дисципліни «Теорія електричних сигналів та кіл», в якій наведені теоретичні матеріали та розглянуті приклади по застосуванню середовища Labview для обробки сигналів.

Розглянуто способи моделювання та масштабування сигналів, особливості аналого-цифрового перетворення та поновлення аналогового сигналу за відповідним йому дискретним сигналом, моделювання цифрових фільтрів, Також розглянуті методи спектрального аналізу на основі дискретного, швидкого та віконного перетворення Фур'є.

Виконання лабораторної роботи включає наступні етапи:

- самостійна підготовка до лабораторної роботи з використанням даних методичних вказівок та матеріалів лекційних занять;
- розробка віртуального приладу у графічному середовищі LabView;
- аналіз результатів роботи ВП;
- складання звіту.

Звіти з лабораторних робіт оформлюються на стандартних листах формату А4 та повинні містити: мету роботи, назви етапів роботи та необхідні відомості про їх виконання, рисунки лицьової панелі та блок-діаграми, необхідні пояснення, блок-схеми алгоритмів (якщо треба), схеми та розрахунки (якщо використовувались).

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1-ТЕСК

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА МАСШТАБУВАННЯ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКСПРЕС ВІРТУАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ (ВІ)

**Мета роботи:** навчитися моделюванню та масштабуванню періодичних гармонічних сигналів за допомогою експрес ВІ у середовищі LabView.

### Програма роботи

1. Генерування періодичного сигналу за допомогою експрес ВІ.
2. Масштабування сигналу з використанням експрес ВІ.
3. Побудова графіку осцилограми.
4. Модифікація параметрів сигналів.
5. Складання звіту.

### Порядок виконання роботи

#### Етап 1. Генерування періодичного сигналу за допомогою експрес ВІ.

Використання експрес ВІ у середовищі LabView надає наступні переваги користувачеві:

- 1) такий підхід зменшує кількість з'єднань на блок-діаграмі;
- 2) надає можливість працювати у інтерактивному інтерфейсі користувача та забезпечує наочну зміну параметрів ВІ.

Створимо ВІ, який дозволяє генерувати періодичний гармонічний сигнал, підсилювати його та виводити на лицюву панель ВП графіки отриманих сигналів (рис. 1.1).

Розмістимо на блок-діаграмі експрес ВП *Simulate Signal* (з меню *Function/ Express/ Input/ Simulate Signal*). Розташований ВП слугує джерелом сигналу. Після виконання дії розміщення з'являється вікно конфігурації. У вікні можна встановити такі параметри як:

- тип сигналу (*Signal type*),
- частота сигналу (*frequency, Hz*),
- фаза (*phase*),
- амплітуда (*amplitude*),
- скважність для прямокутних імпульсів (*duty cycle, %*),
- частота дискретизації (*samples per second, Hz*),
- кількість відліків за період (*number of samples*).

ВП *Simulate Signal* дозволяє отримати різні типи сигналів, наприклад, синусоїдальний, прямокутний імпульсний, трикутний, пилоподібний, сигнал постійного струму.

Встановіть у вікні конфігурації такі значення параметрів, щоб отримати синусоїдальний сигнал з частотою 200 Гц, амплітудою 100, частотою дискретизації 8000 Гц та кількістю відліків 128. Таким чином за 15,875 мс взагалі виконується 128 відліків.

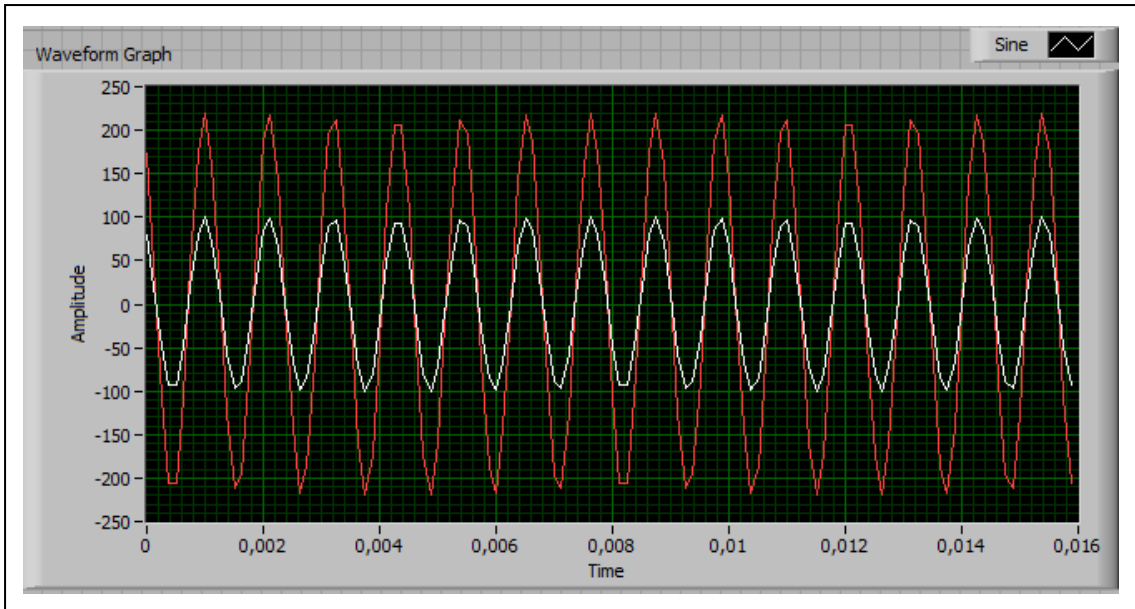


Рис. 1.1. Графіки періодичних сигналів

## Етап 2. Масштабування сигналу з використанням експрес ВІ.

Розмістіть на блок-діаграмі експрес ВІ під назвою *Scaling and Mapping* (з меню *Function/ Express/ Arithmetic & Comparison/ Scaling and Mapping*). Інструмент «Масштабування та відображення» використовується для підсилення та масштабування модельованого сигналу. Після розташування експрес ВІ у вікні блок-діаграми автоматично з'являється діалогове вікно конфігурації, у якому потрібно обрати лінійний масштаб ( $Linear Y=mX+b$ ) та ввести у поле «Кутовий коефіцієнт» (*Slope (m)*) певне значення, наприклад, 5.

Поєднайте вихід «Синус» (*Sine*) експрес ВІ *Simulate Signal* з вхідним терміналом *Signals* ВІ *Scaling and Mapping* (рис. 1.2). Провідник автоматично прийняв колір динамічного типу даних.

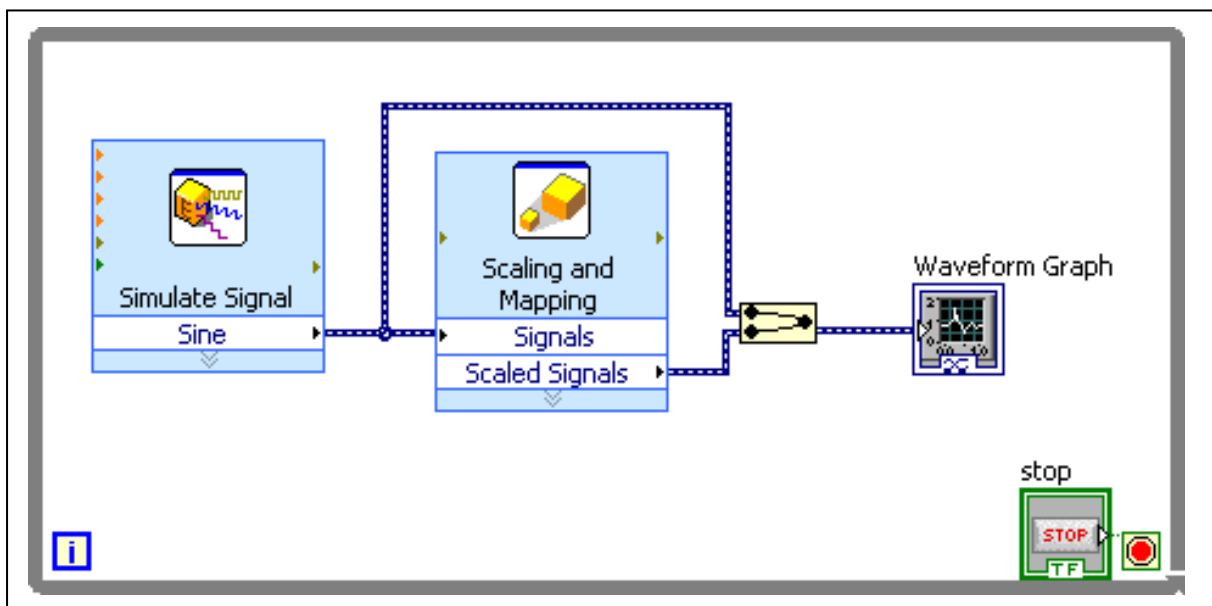


Рис. 1.2. Блок-діаграма для моделювання та масштабування сигналів за допомогою експрес ВІ

### **Етап 3. Побудова графіку осцилограми.**

Для відображення отриманих сигналів на лицьовій панелі скористаємося індикатором *Waveform Graph*. Для того, щоб вивести вихідний та масштабований сигнали на одному графіку, необхідно підключити на вхід терміналу *Waveform Graph* обидва сигнали з використаних експрес ВП. Вказану дію можна виконувати у будь-якій послідовності, при цьому автоматично вставляється на провід з даними динамічного типу функція «Поєднати сигнали» (*Merge Signals*). Вказана функція вставляється при поєднанні сигналу динамічного типу даних до інших сигналів будь-якого типу. Призначення функції поєднання сигналів полягає в об'єднанні декількох входів, що дозволяє передавати по одному провіднику два сигнали: вихідний та масштабований.

Оскільки на одному графіку будуть відображатись два різні сигнали, то потрібно змінити розміри панелі редагування графіку таким чином, щоб на ній відображались два ярлика та маркери. При використанні динамічного типу даних ярлики сигналів встановлюються автоматично.

Щоб запустити ВП у циклічному режимі, розмістіть усі експрес ВП та графік у циклі за умовою.

### **Етап 4. Модифікація параметрів сигналів.**

Для того, щоб мати можливість змінювати частоту під час роботи ВП необхідно розмістити на лицьовій панелі будь-який елемент управління, наприклад, вертикальний слайдер (*Vertical Pointer Slide*) та підключити його до входу «частота» експрес ВП *Simulate Signal*. Зверніть увагу, що для того, щоб на ВП відображалася більша кількість виводів, необхідно змінити його розміри шляхом розтягування мишкою його границь у вікні блок-діаграм.

Замініть експрес ВП *Scaling and Mapping* функцією множення (*multiply*). З метою надання можливості регулювання коефіцієнту підсилення розмістіть на лицьовій панелі ще будь-який регулятор та присвойте йому ім'я «Коефіцієнт підсилення» (*Gain*). При виконанні даного етапу Ви повинні отримати блок-діаграму схожу на рис. 1.3.

За допомогою спливаючого меню обраних регуляторів у пункті властивості встановіть їх максимально можливі значення: 1000 – для частоти; 5 – для коефіцієнту підсилення. Значення по умовчання встановіть, наприклад, такі: 200 – для частоти; 3 – для підсилення.

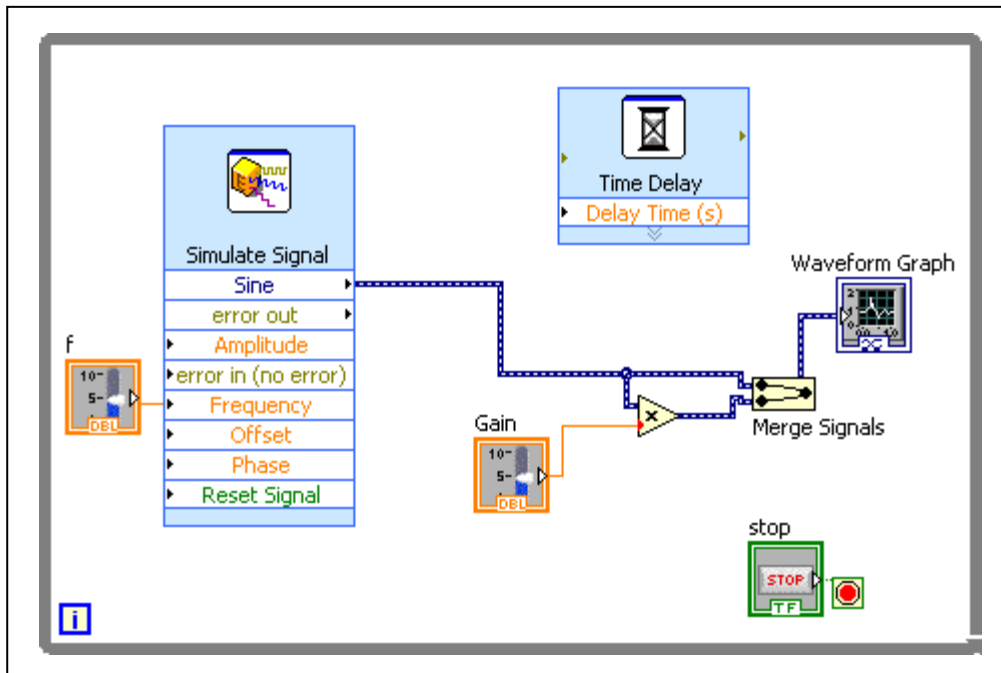


Рис. 1.3. Блок-діаграма отримання сигналів з регульованими параметрами

**Завдання:**

1. Вивчити можливості експрес віртуальних інструментів у середовищі Labview.
2. Розробити віртуальний прилад для моделювання та масштабування сигналів використовуючи експрес віртуальні інструменти.

**Контрольні запитання**

1. Навіщо потрібні експрес віртуальні інструменти?
2. Яке призначення функції *Merge Signals*
3. Який тип даних використовується при роботі експрес ВІ *Simulate Signal*?
4. Яким чином можна регулювати коефіцієнт підсилення?
5. Поясніть по блок-діаграмі вашого віртуального приладу призначення його вузлів, функцій, органів управління і індикаторів, порядок роботи віртуального приладу.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2-ТЕСК  
МОДЕЛЮВАННЯ ТА МАСШТАБУВАННЯ СИГНАЛІВ**

**Мета:** навчитися моделюванню та масштабуванню періодичних гармонічних сигналів у середовищі LabView.

**Програма роботи**

1. Моделювання сигналу за допомогою ВП *Basic Function Generator*.
2. Оформлення інтерфейсу користувача.

3. Масштабування та графічний вивід сигналу.
4. Складання звіту

### Порядок виконання роботи

#### Етап 1. Моделювання сигналу за допомогою ВП *Basic Function Generator* (генератор базової функції).

Оберіть команду для створення порожнього віртуального приладу. Розмістіть у вікні блок-діаграм цикл з постумовою *While Loop*. У якості джерела сигналу використовуємо ВП *Basic Function Generator*. Щоб задати параметри сигналу необхідно приєднати потрібні для цього елементи управління та константи.

Тип сигналу може обиратися з чотирьох стандартних, тому він повинен приймати тільки передбачені значення рахункового типу даних. Щоб створити елемент управління для типу сигналу необхідно натиснути правою кнопкою мишки по виводу *signal type* (тип сигналу) ВП «Генератор базової функції» та обрати з меню *Create/Control* пункт *Enum*. Він відноситься до елементу управління рахункового типу та автоматично містить список з чотирьох типів стандартних сигналів: синусоїдальний, трикутний, прямокутний, пилоподібний.

Створіть постійну амплітуди наступним чином: натисніть правою кнопкою по терміналу амплітуди та оберіть «Створити/ Константу». Змініть значення за умовчанням на константу 100. Для настройки частоти дискретизації та числа вибірок створіть константу на виводі інформації про дискретизацію *sampling information*. При цьому автоматично з'являється кластер, який складається з двох числових констант. Елемент кластера, показаний у верхньому вікні, представляє собою частоту дискретизації, а нижній містить число відліків. Задайте частоту дискретизації 8000, кількість відліків 128.

#### Етап 2. Оформлення інтерфейсу користувача.

Перейдіть у вікно лицьової панелі (натисніть  $\langle \text{Ctrl} + \text{E} \rangle$ ). Розмістіть на лицьовій панелі два вертикальних регулятора для частоти та коефіцієнту підсилення, присвойте їм відповідні ярлики. Встановіть з контекстного меню максимальні значення для частоти – 1000, для коефіцієнту підсилення – 5.

На блок-діаграмі з'явилися іконки відповідні до елементів лицьової панелі. Вони повинні розміщуватися в середині циклу. Елемент управління «Частота» повинен приєднуватися до входу *frequency* віртуального приладу *Basic Function Generator*.

Вихідні дані ВП *Basic Function Generator* представлені типом даних «осцилограма». Тип даних «осцилограма» - це спеціальний кластер, який поєднує три компонента ( $t$ ,  $dt$ ,  $Y$ ). Компонент  $t$  – це час запуску осцилограми;  $dt$  – часовий інтервал між двома відліками;  $Y$  – значення даних осцилограми.



### Етап 3. Масштабування та графічний вивід сигналу.

Для масштабування отриманого сигналу у відповідності з коефіцієнтом підсилення необхідно використати функцію множення (рис. 2.1).

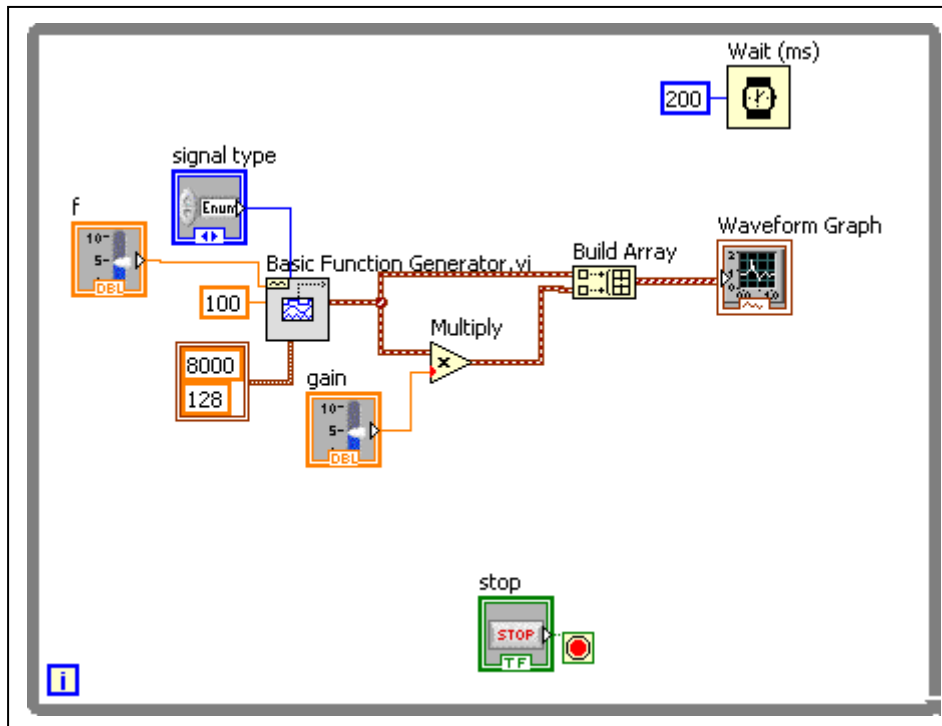


Рис. 2.1. Моделювання та масштабування періодичних сигналів

Для того, щоб відобразити на одному графіку обидва сигнали (вихідний та масштабований), необхідно скористатися функцією *Build Array* (побудувати масив). Розмістіть двовимірний масив, тобто два рядка (колонки) сигналів з однаковою розмірністю. Змініть розміри функції «побудувати масив» так, щоб на ній було видно два вхідних термінали. Підключить вихідний та масштабований сигнали до терміналів функції.

*Build Array* використовується для об'єднання масивів та для створення n-мірних масивів. У даному випадку функція *Build Array* використовується для порівняння двох сигналів, тому впевніться, що у меню швидкого доступу не відмічено опцію «поєднати виводи» (*Concatenate Inputs*).

Розмістіть на лицьовій панелі графік осцилограми та з'єднайте його вхід зі входом функції «побудувати масив» у вікні блок-діаграм. Змініть розміри панелі редагування графіків так, щоб побачити ярлики та відредагувати їх. Відключіть у контекстному меню опції *AutoScaleY* та для вісі X відключіть *Loose Fit*. Встановіть оптимальний для виводу масштаб по вісі ординат самостійно.

Розмістіть у цикл функцію *Wait (ms)*, яка забезпечує затримку виконання ВП для належного сприйняття графічної інформації користувачем.

Лицьова панель повинна мати приблизно такий вигляд (рис. 2.2).

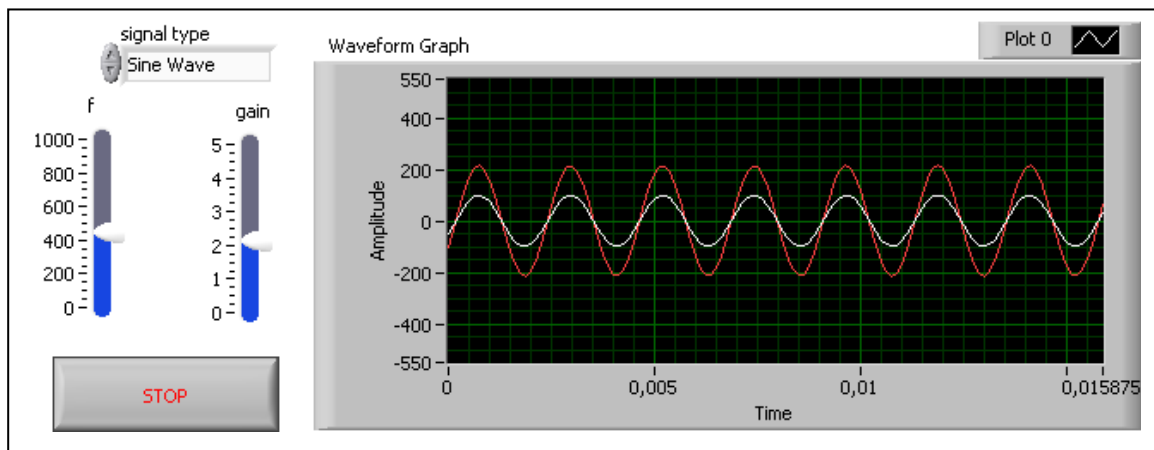


Рис. 2.2. Лицьова панель віртуального інструменту для моделювання та масштабування періодичних сигналів

### Завдання:

1. Вивчити можливості *Basic Function Generator* у середовищі Labview.
2. Розробити віртуальний прилад для моделювання та масштабування сигналів.

### Контрольні запитання

1. Яку функцію виконує *Basic Function Generator*
2. Як забезпечити відображення декількох сигналів на одному графіку?
3. Навіщо використовувати функцію *Wait*?
4. Поясніть, чому на ВП деякі з'єднувальні провoda відображаються тонкою лінією, а інші товстою.
5. Навіщо використовувати цикл *While Loop* та чи буде працювати вимірювальний прилад без нього.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3-ТЕСК ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ НАКЛАДАННЯ СПЕКТРІВ

**Мета:** навчитися аналого-цифровому перетворенню сигналів у середовищі LabView та виконати дослідження ефекту накладання спектрів періодичних сигналів.

### Програма роботи

1. Вивчення теоретичних основ аналого-цифрового перетворення сигналів.
2. Побудова віртуального приладу у середовищі LabView для дослідження ефекту накладання спектрів.
3. Використання структури вибору варіанта.
4. Складання звіту.

## Порядок виконання роботи

### Етап 1. Аналого-цифрове перетворення сигналів. Теоретичні положення.

Відомо, що процес аналого-цифрового перетворення сигналу полягає у перетворенні неперервного за часом та амплітудою сигналу у низку дискретних за часом та амплітудою значень. Два етапи, які є обов'язковими при реалізації аналого-цифрового перетворення сигналів:

- 1) дискретизація за часом;
- 2) квантування за рівнем.

Дискретизація – це процес вибірки дискретних за часом миттєвих значень аналогового сигналу, при цьому важливим виявляється співвідношення між частотами аналогового та цифрового сигналів. Розглянемо цей момент на прикладі дискретизації аналогового періодичного гармонічного синусоїдного сигналу виду  $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$ . Якщо виконувати дискретизацію даного сигналу у моменти часу  $t = nT_s$  з періодом дискретизації  $T_s$ , то отримаємо дискретний за часом сигнал:

$$x[n] = A \cos(\omega n T_s + \varphi) = A \cos(\theta n + \varphi), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

де,  $\theta = \omega T_s = \frac{2\pi f}{f_s}$  – частота цифрового сигналу у радіанах (порівняйте з аналоговою частотою, яка вимірюється у радіанах в секунду).

Частота  $\theta$  відповідного цифрового сигналу визначається як частотою  $f$  аналогового сигналу та частотою дискретизації  $f_s$ .

Для дослідження аналогових та цифрових сигналів використовуються пряме та зворотне перетворення Фур'є у аналоговому та дискретному представленнях.

Аналогове перетворення:

$$\begin{cases} X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt; \\ x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) e^{j\omega t} d\omega. \end{cases}$$

Дискретне пряме та зворотне перетворення:

$$\begin{cases} X(e^{j\theta}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-jn\theta}, \quad \theta = \omega T; \\ x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\theta}) e^{jn\theta} d\theta. \end{cases}$$

Коли аналоговий сигнал з максимальною смугою пропускання  $W$  (або з максимальною частотою  $f_{max}$ ) дискретизований з періодом  $T_s=1/f_s$ , то відповідна частотна характеристика повторюється кожні  $2\pi$  радіан. Тобто, перетворення Фур'є в цифровому представленні представляє собою періодичну версію перетворення в аналоговому представленні. Тому для дискретних сигналів цікавим виявляється тільки діапазон частот  $[0, f_s/2]$ .

З метою уникнення появи ложних сигналів або спотвореного спектрального складу дискретного сигналу та у подальшому мати можливість відтворення частоти вихідного аналогового сигналу, необхідно виконання умови:

$$f_s \geq 2f_{max}$$

Останній вираз відомий як критерій Найквіста або теорема Котельникова. Вказана умова тлумачиться наступним чином: частота дискретизації повинна як мінімум у два рази перевищувати максимальну частоту аналогового сигналу. Тому зазвичай перед будь-якою дією з цифровим сигналом використовуються фільтри для знищення ефектів накладання спектрів, який обмежує максимальну частоту аналогового сигналу.

## **Етап 2. Побудова віртуального приладу у середовищі LabView для дослідження ефекту накладання спектрів.**

Дискретний сигнал необхідно сформувати з відліків синусоїдального сигналу. Коли нормована частота дискретного сигналу  $f/f_s$  стає більш, ніж 0,5 (тобто частоти Найквіста), можна спостерігати ефект накладання.

Для процесу дискретизації обираємо частоту дискретизації за часом  $f_s=1$  кГц, число відліків  $N=10$ . В результаті отримаємо сигнал, який дискретизований за часовий інтервал 10 мс. Частота сигналу змінюється у межах від 0 до 1000 Гц за допомогою елементів управління, розташованих на лицьовій панелі (рис. 3.1). Панель ВП містить горизонтальний регулятор для управління частотою сигналу, графік осцилограми, два числових індикатори для відображення нормованої та ложної частот. На рис. 3.2. Представлена блок-діаграма відповідного ВП.

Для отримання аналогового та дискретного синусоїдальних сигналів використовується три ВП «Синусоїда» (*Sine Wave*), які доступні з палітри меню *Functions/ Signal Processing/ Signal Generation / Sine Wave*. На входи вказаних ВП необхідно подати кількість відліків, амплітуду, частоту та фазовий зсув. Якщо вхід «амплітуда» не підключений до жодного терміналу, то використовується значення по умовчанням 1. Частота повинна бути виражена у циклах на відлік, тобто ця величина має зворотне значення по відношенню до кількості відліків за період. Фаза задається числовою константою 90, підключеною до входу *Phase in*.

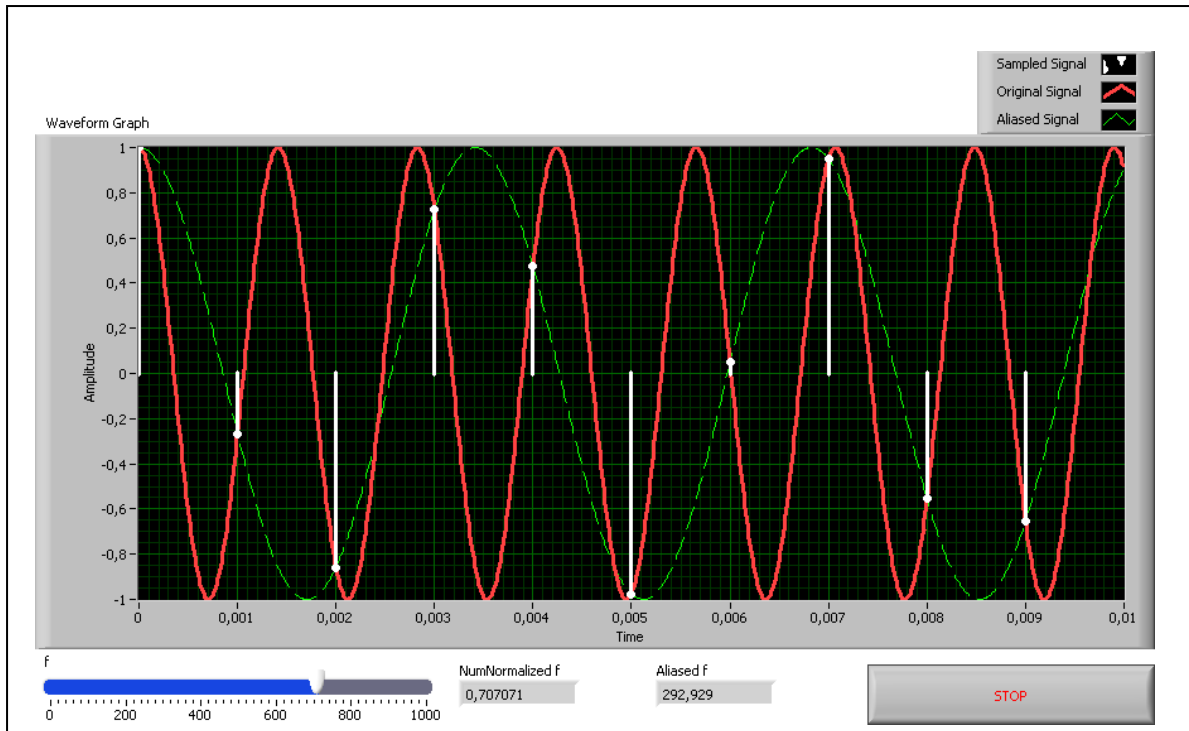


Рис. 3.1. Лицьова панель ВП для дослідження ефекту накладання спектрів

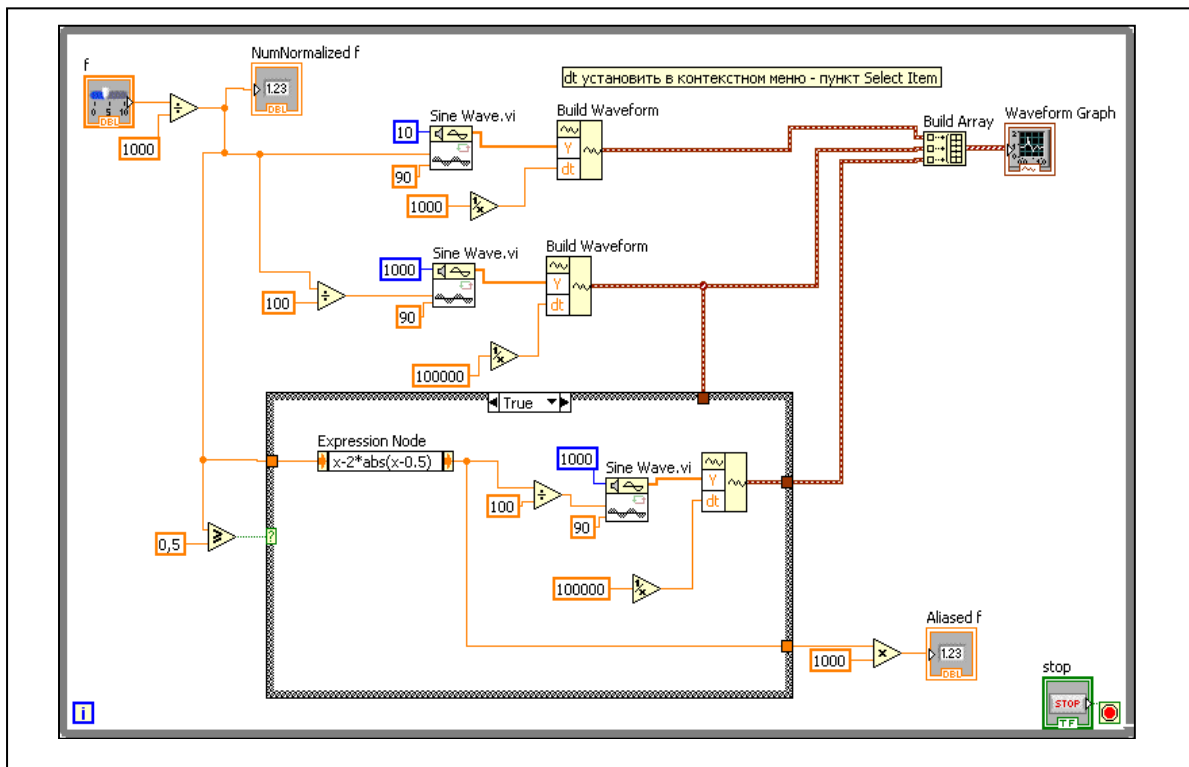


Рис. 3.2. Блок-діаграма ВП для дослідження ефекту накладання спектрів

На виході даний ВП має масив з відліків синусоїди. Функція *Build Waveform* (створити осцилограму) доступна з палітри меню *Function/ Programming/ Waveform/ Build Waveform*. *Build Waveform* слугує для поєднання відліків з входу *Y* та інтервалів часу між відліками  $T_s=1/1000$ , які подаються на вхід *dt*.

Число відліків для аналогового представлення (яке можливо тільки наближено реалізувати за допомогою ЕОМ) приймаємо у 100 разів більше, ніж

для дискретного сигналу. Для того, щоб відношення між частотою та відліками залишалось таким самим як і для дискретного сигналу, значення, яке поступає на вхід  $f$  будемо ділити на 100. Крім того, часовий інтервал між відліками аналогового сигналу задаємо рівним 0,01 інтервалу дискретного сигналу.

Таким чином, верхній прилад з блок-діаграми генерує дискретний сигнал; середній – аналоговий сигнал; нижній – сигнал з ложною частотою, який з'являється, коли частота аналогового сигналу перевищує частоту Найквіста.

### **Етап 3. Використання структури вибору варіанта.**

Для того, щоб розрізнити випадки дискретизації з появою ложних частот та при їх відсутності, будемо використовувати структуру вибору варіанта *Case Structure*. Якщо нормована частота більше, ніж 0,5, що відповідає випадку ІСТИНА (*True*), то третій ВП *Sine Wave* генерує сигнал з ефектом накладання. Усі входи залишаються попередніми, крім частоти сигналу з накладанням.

Для отримання частоти, при якій з'являється ефект накладання ложної частоти, використовується вузол виразу *Expression Node* з палітри меню *Function/ Mathematics / Numeric/ Expression Node*. Вузол виразу зазвичай використовується для обчислення виразів з однією змінною.

Для випадку *false* в структурі варіанту, тобто при дискретизації без ефекту ложних частот, не потрібно генерувати сигнал з ложною частотою. Тому аналоговий сигнал поєднаний з виходом структури вибору варіанту так, щоб той самий сигнал відображався на графіку осцилограми, а частота накладання сигналу встановлюється в значення 0 (рис. 3.3). Особливістю використання структури варіанту є те, що необхідно поєднати провідниками усі виходи для кожного випадку.

Результат дискретизації з накладанням повинен відповідати рис. 3.1. Відліки вихідного сигналу синусоїди з частотою приблизно 700 Гц співпадають з відліками для синусоїдального сигналу з частотою близько 300 Гц.

Усі три осцилограми поєднані функцією *Build Array*.

Для правильного відображення графіку він повинен бути настроєний. Розтягніть панель редагування графіків униз, при цьому стануть доступні три елементи, надайте відповідні назви ярликам. При визові контекстного меню графіка правою кнопкою мишки оберіть пункт «Властивості» та встановіть для сигналу *Sampled Signal* у діалоговому вікні *Waveform Graph Property* на вкладці *Plots* стиль точки, інтерполяцію графіка (без з'єднання лінією) та у рядку *Fill to* (заповнення) обрати значення *zero*.

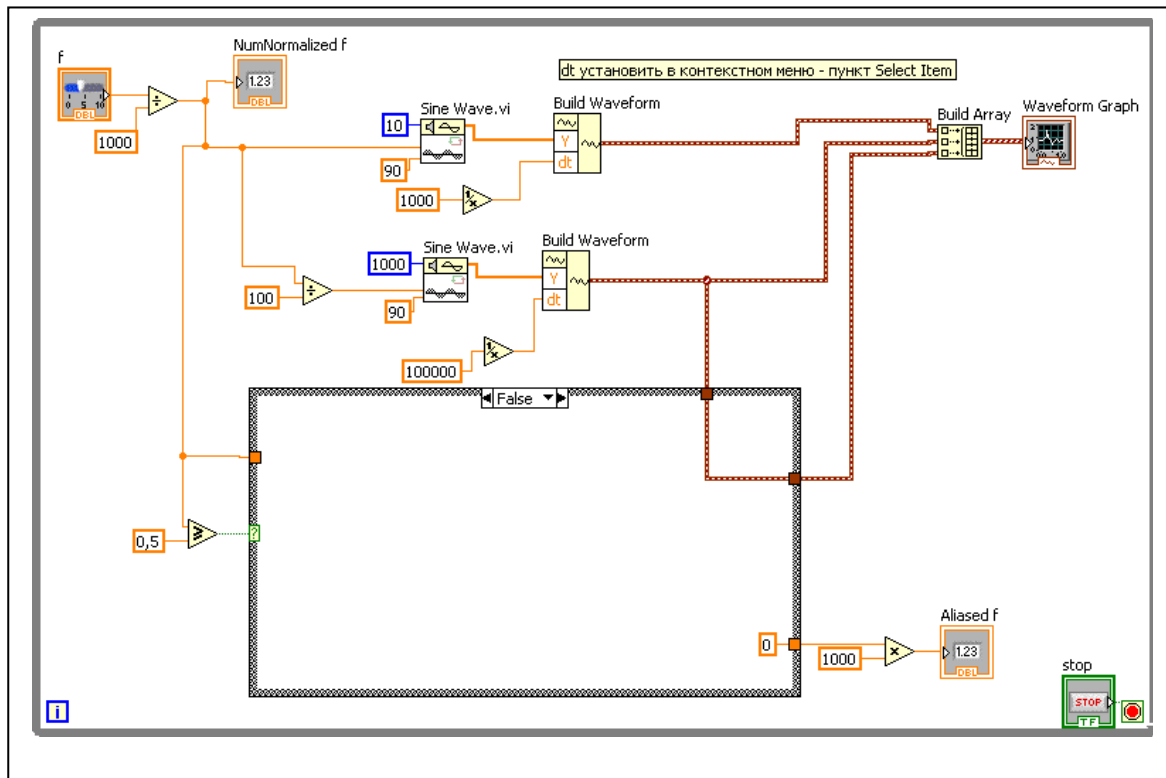


Рис. 3.3. Блок-діаграма для значення *false* структури вибору варіанта

### Завдання:

1. Вивчити етапи перетворення аналогових сигналів у цифрові та за яких умов спостерігається накладання спектрів та як це уникнути.
2. Розробити віртуальний вимірювальний прилад для дослідження ефекту накладання спектрів.

### Контрольні запитання

1. Поясніть поняття «дискретизація за часом» та «квантування за рівнем». Проілюструйте поетапне перетворення аналогового сигналу у цифровий.
2. Що буде спостерігатися у випадку, коли максимальна частота аналогового сигналу буде суттєво перевищувати частоту дискретизації та навпаки?
3. Яким чином можна позбавитися ефекту накладання спектрів?
4. Навіщо використовувати структуру вибору варіанта?
5. У чому полягає і як виявляється накладання спектрів при дискретизації сигналів за часом?
6. Поясніть поетапну роботу ВП та призначення усіх вузлів.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4-ТЕСК ШВИДКЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є У СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

**Мета:** навчитися виконувати швидке перетворення Фур'є у середовищі LabView.

### Програма роботи

1. Генерування сигналів.
2. Виконання швидкого перетворення Фур'є.
3. виправлення невірної дискретизації.
4. складання звіту

### Порядок виконання роботи

#### Етап 1. Генерування сигналів.

Для того, щоб у операції дискретного перетворення Фур'є не виникало неоднорідностей, частота вхідного аналогового сигналу повинна відповідати умові  $f = \frac{m}{N} f_s$ , де  $f$  – частота аналогового сигналу;  $f_s$  – частота дискретизації;  $m$  – кількість циклів, за яку обчислюється дискретне перетворення Фур'є;  $N$  – кількість відліків. У цьому випадку забезпечується періодичність дискретного перетворення Фур'є.

У даній лабораторній роботі необхідно розробити ВП, який показує різницю при виконанні дискретного перетворення Фур'є для випадків, коли умова виконується та протилежної ситуації.

Для виконання поставленого завдання скористуємося експрес ВП. Створіть новий ВП, перейдіть до вікна блок-діаграм та розмістіть у ньому два експрес ВП «Моделювання сигналу» - *Simulate Signal* з палітри меню *Function/ Express/ Input/ Simulate Signal*. При цьому автоматично розкривається діалогове вікно конфігурації для підстройки параметрів: тип сигналу, частота, амплітуда, частота дискретизації. Оберіть тип сигналу *Sine* (синус), встановіть частоту *frequency=250 Hz*; амплітуду *amplitude=1*; фазовий зсув *phase=90 deg*; частоту дискретизації *samples per second=1000*; кількість відліків *number of samples=512*. Вказаний набір параметрів відповідає до вимоги  $f = \frac{m}{N} f_s$ . У другому експрес ВП *Simulate Signal* встановіть такі ж параметри, окрім частоти вихідного синусоїдного сигналу – встановіть її значення, наприклад, 251 Гц (для того, щоб умова не виконувалася).

#### Етап 2. Виконання швидкого перетворення Фур'є.

Розмістіть у вікні блок-діаграм два експрес ВП «Вимірювання спектра» з палітри меню *Function/ Express/ Signal Analysis/ Spectral*. Обраний ВП реалізує обчислення швидкого перетворення Фур'є. При відкритті діалогового вікна



підстройки параметрів експрес ВП залишайте усі параметри без зміни, окрім рядка *Window*, у якому оберіть пункт *None*. Обрані установки забезпечують відтворення спектру у масштабі децибел без використання вікна розтікання спектру.

Розмістіть на лицьовій панелі два індикатори для виводу графіків сигналів та виконайте підключення ВП як це показано на рис. 4.1.

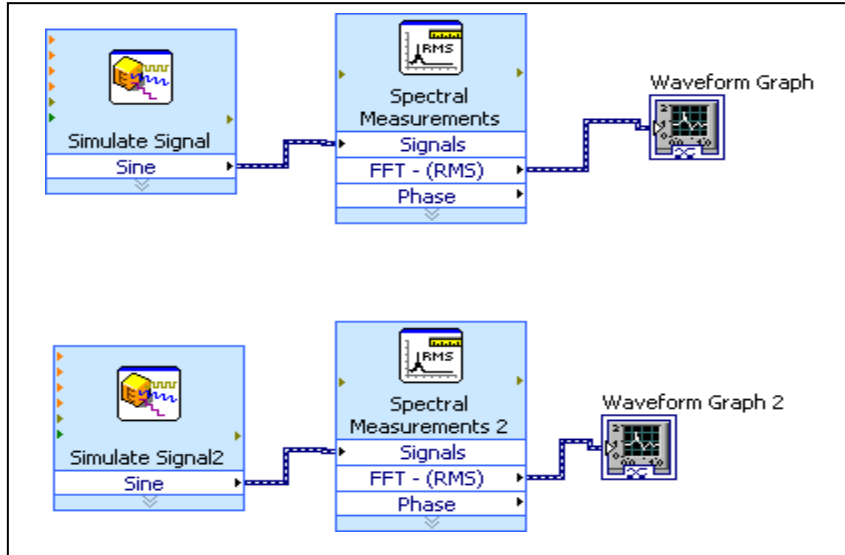


Рис. 4.1. Реалізація швидкого перетворення Фур'є за допомогою експрес ВП

При виконанні розробленого віртуального приладу у графічних індикаторах повинні побудуватися графіки, показані на рис. 4.2.

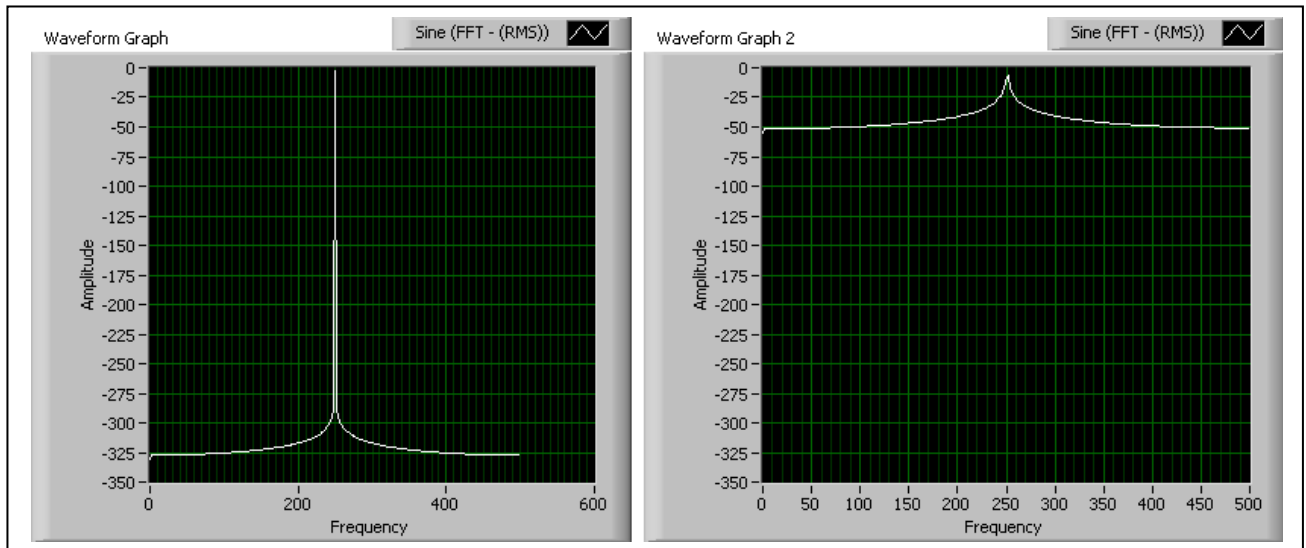


Рис. 4.2. Швидке перетворення Фур'є для синусоїдних сигналів з частотами 250 та 251 Гц

Для більш зручного представлення вікно графіка у вікні осцилограми *Waveform Graph* можна збільшити, якщо скористатися палітрою управління графіками з контекстного меню *Visible Item/ Graph Palette*. Де доступні опції

*Cursor Movement Tool* (інструмент переміщення курсоре), *Zoom* (масштаб), *Panning Tool* (інструмент панорамування).

### Етап 3. виправлення невірної дискретизації.

Невірно виконану дискретизацію для сигналу з частотою 251 Гц можна виправити, якщо задати інші параметри дискретизації. Діалогове вікно конфігурації експрес ВП *Simulate Signal* містить опцію *Integer number Of Cycles* (ціла кількість циклів). Обрав цю опцію отримаємо вірні умови дискретизації (рис. 4.3).

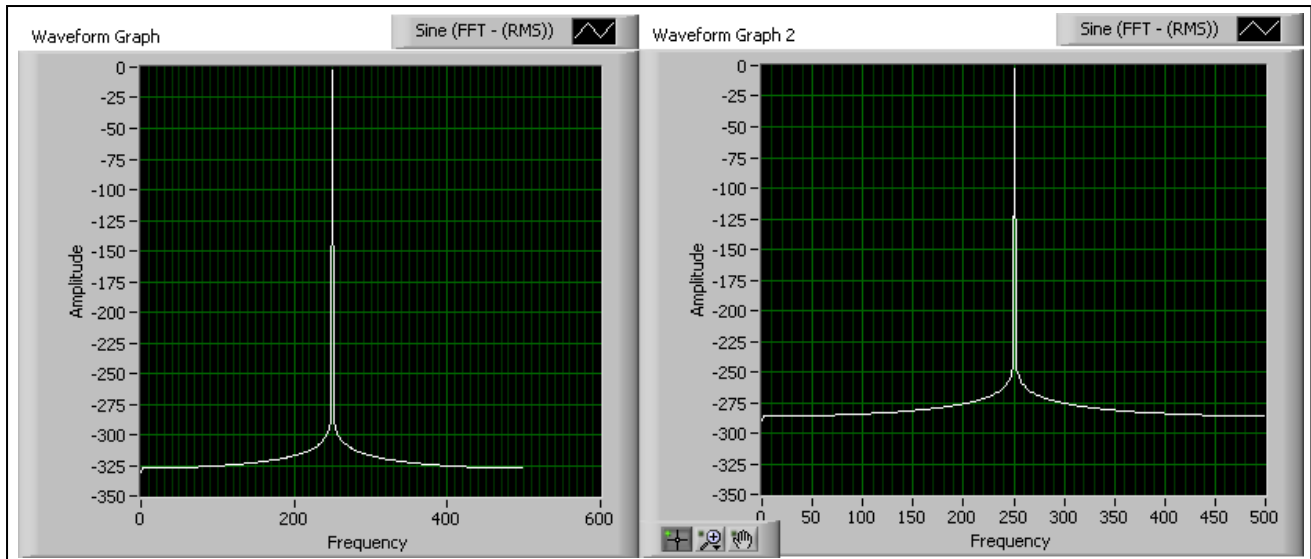


Рис. 4.3. Швидке перетворення Фур'є при виконанні умови дискретизації

### Завдання:

1. Вивчити алгоритм та особливості реалізації швидкого перетворення Фур'є у середовищі програмування Labview.
2. Розробити віртуальний прилад, який продемонструє різницю при виконанні дискретного перетворення Фур'є для випадків, коли виконується умова  $f = \frac{m}{N} f_s$  та протилежної ситуації.

### Контрольні запитання

1. На якому алгоритмі будується швидке перетворення Фур'є?
2. У чому полягає відмінність швидкого перетворення Фур'є від дискретного?
3. Яким чином забезпечити періодичність дискретного перетворення Фур'є?
4. Яким чином реалізується швидке перетворення Фур'є в середовищі програмування Labview?
5. Поясніть вплив частоти дискретизації на отриманні спектри сигналів.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5-ТЕСК КВАНТУВАННЯ СИГНАЛІВ У СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

**Мета:** навчитися виконувати квантування та поновлення сигналів у середовищі LabView.

### Програма роботи

1. Генерування аналогового сигналу
2. Квантування сигналу та обчислення похибки
3. Аналіз потоку бітів квантованого сигналу.
4. Складання звіту

### Порядок виконання роботи

#### Етап 1. Генерування аналогового сигналу

Відкрийте бланк ВП для розробки приладу аналого-цифрового перетворення. Розглянемо квантування аналогового сигналу

$$y(t) = 5.2e^{-10t} \sin(20\pi) + 2.5 \quad (5.1)$$

Максимальне та мінімальне значення амплітуди сигналу розташовані у діапазоні від 0 до 7, тобто їх можна представити за допомогою трьох бітів (комбінації бітів для рівнів квантування 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111).

Поставимо наступні задачі для розробки ВП аналого-цифрового перетворення: вивести графіки аналогового та квантованого сигналів, графік похибки квантування та побудувати гістограму розподілу похибки квантування (рис. 5.1).

Для генерування аналогового сигналу (5.1) використовуємо ВП «формула осцилограми» з палітри меню *Functions/ Programming/ Waveform/ Analog Waveform/ Waveform Generation/ Formula Waveform*. ВП отримає на вхід строкову константу, яка задає форму сигналу, амплітуду, частоту та інформацію про відліки (рис. 5.2). Значення вихідного сигналу, Y-складова, витягуються за допомогою функції *Get Waveform Components*.

#### Етап 2. Квантування сигналу та обчислення похибки

Для реалізації процесу квантування, перетворюємо сигнал з подвійною точністю у без знаковий тип цілих чисел за допомогою функції «в байт цілого числа без знаку» з палітри меню *Functions/ Mathematics/ Numerac/ Conversion/ To Unsigned Byte Integer*. Таким чином, дискретний сигнал формується шляхом заміни аналогового сигналу на квантова ні значення. Для цього квантова ні значення функції підключаються до функції *Build Waveform*.

Для обчислення похибки квантування обчислюємо різницю між вхідними значеннями аналогового та квантованого сигналів. Для побудови гістограми

похибки квантування можна скористатися експрес ВП «створення гистограми» з палітри меню *Functions/ Express/ Signal Analysis/ Create Histogram*. У діалоговому вікні конфігурації необхідно обрати наступні опції: можливі межі значення похибки квантування 0,5 та -0,5; кількість інтервалів – 10; для опції представлення амплітуди (amplitude representation) оберіть «кількість відліків» (*Sample Count*). Для створення графіку осцилограми необхідно натиснути правою кнопкою мишки на вузлі «гістограма» з експрес ВП «створення гистограми» та обрати *Create/ Indicator*.

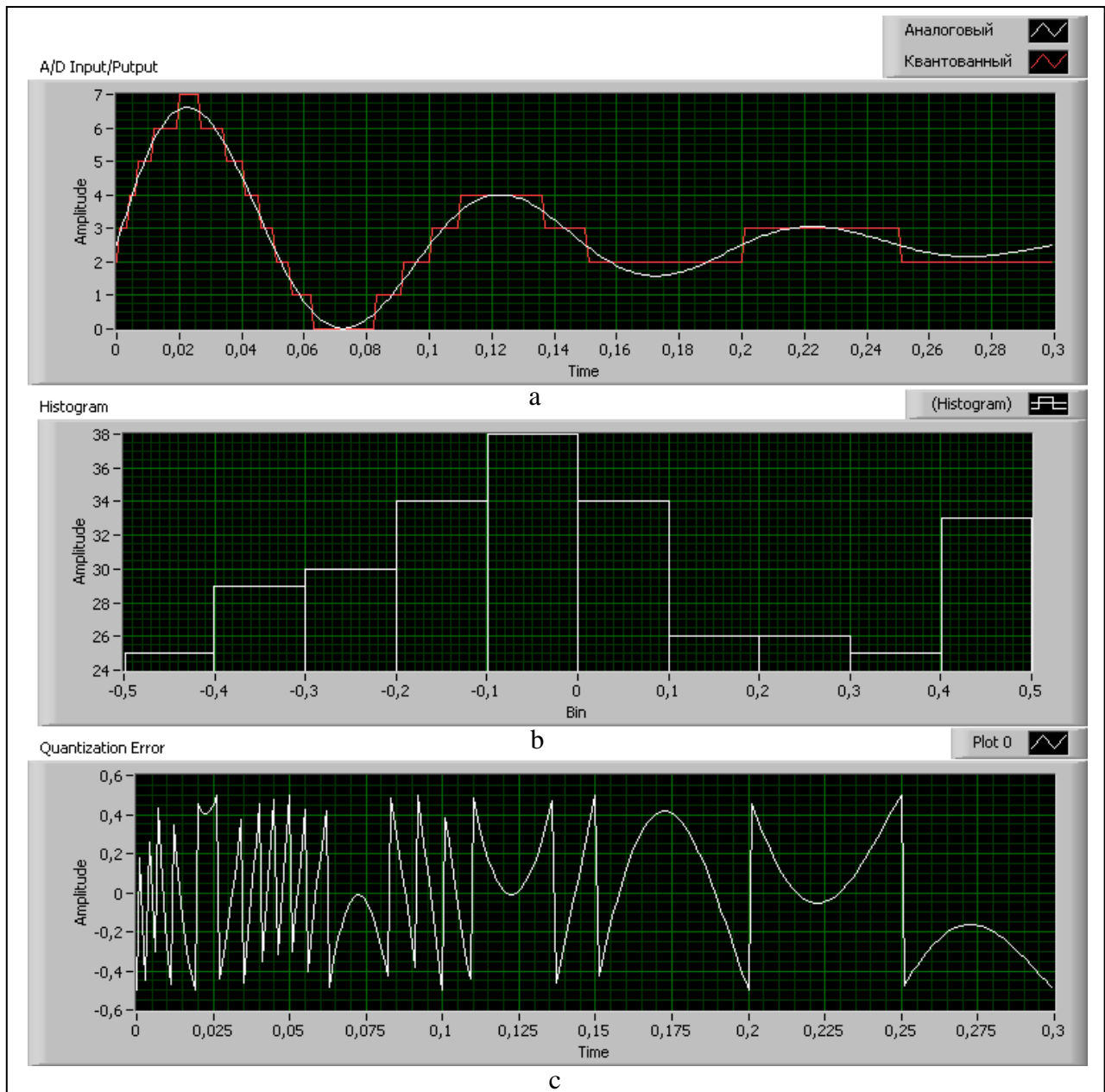


Рис. 5.1. Квантування аналогового сигналу за допомогою 3-бітного АЦП:  
 а- аналоговий та дискретний сигнал;  
 б- гистограма похибки квантування, с-похибка квантування

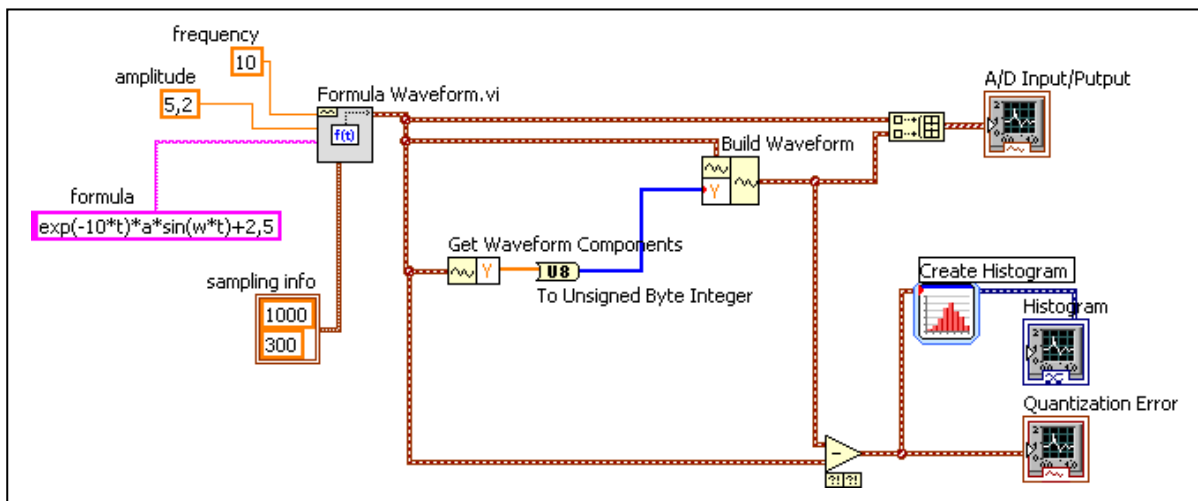


Рис. 5.2. Блок-діаграма для ВП квантування сигналу

### Етап 3. Аналіз потоку бітів квантованого сигналу.

Поток бітів на виході 3-бітового АЦП можна представити у двоїчному форматі як  $b_3b_2b_1$ . Дискретний сигнал та його розкладання на біти показано на рис. 5.3.

У якості заданого аналогового сигналу обираємо сигнал, що описується формулою 5.1. Аналоговий сигнал генерується функцією *Formula Waveform* та квантується за допомогою функції *To Unsigned Byte Integer*. Щоб повторити квантування стільки раз, скільки маємо відліків скористаємося циклом з фіксованим числом ітерацій *For Loop*. Кількість відліків можна отримати за допомогою функції *Array Size*.

Поєднання вхідного масиву з циклом створює на границі циклу точку входу/виходу. За умовчанням ввімкнено авто індексацію. У режимі авто індексації у кожній ітерації цикл отримує один елемент вхідного масиву.

Для того, щоб отримати двоїчний потік бітів необхідно перетворити кожне значення, яке поступає в цикл, в логічний масив за допомогою функції *Number To Boolean Array* з палітри меню *Functions/ Programming/ Boolean/ Number To Boolean Array*. Елементи утвореного масиву представляють собою окремі біти 8-бітного цілого числа. Щоб звернутися до значення конкретного біту передаємо логічний масив у функцію «індексувати масив» з палітри меню *Function/ Programming/ Array/ Index Array*. Потім необхідно задати положення біту за допомогою числової константи *Numeric Constant*. Оскільки значення зберігаються у логічному масиві, то вони можуть бути у стані *false* або *true*. Логічні значення відповідним чином перетворюються у числові значення 0 або 1 за допомогою функції *Boolean To (0, 1)* з палітри меню *Function/ Boolean/ Boolean To (0, 1)*. Дані з кожного біту виходять з циклу з фіксованим числом ітерацій. Блок-діаграма розробленого ВП показана на рис. 5.4.

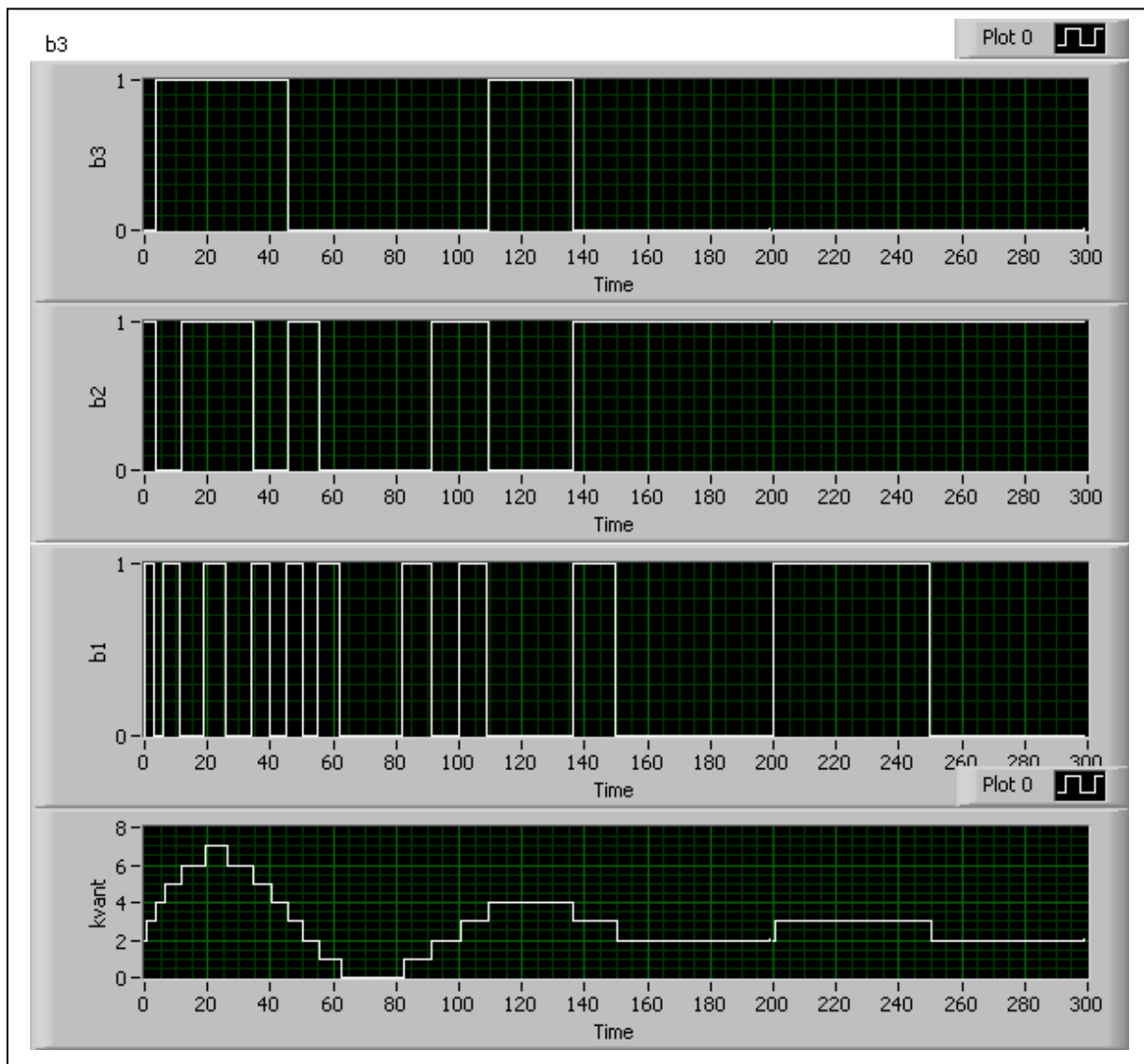


Рис. 5.3. Потік бітів 3-бітного квантування

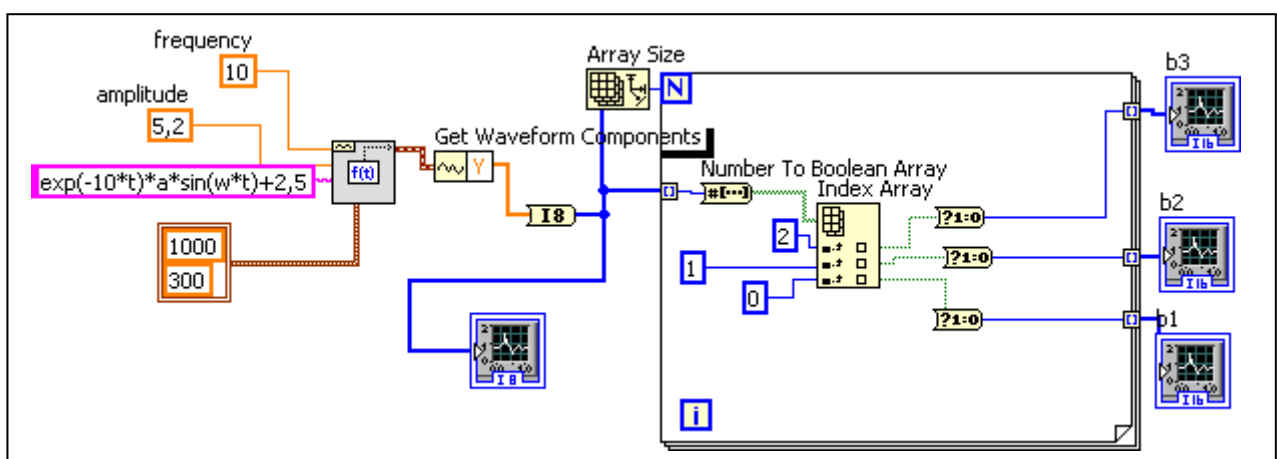


Рис. 5.4. Блок-діаграма логічного аналізатора

**Завдання:**

1. Вивчити процес квантування аналогового сигналу.
2. Розробити ВП для реалізації процесу квантування і відображення похибки квантування та представлення рівнів квантування у вигляді комбінації бітів.

**Контрольні запитання**

1. У чому полягає сутність етапу квантування в процесі аналого-цифрового перетворення
2. Поясніть процес представлення рівнів квантування у вигляді комбінації бітів.
3. Чим зумовлено виникнення похибки квантування?
4. Яким чином реалізувати процес квантування в середовищі програмування Labview
5. Як реалізувати ВП для представлення рівнів квантування у вигляді комбінацій бітів.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6-ТЕСК  
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПОНОВЛЕННЯ СИГНАЛІВ  
З ДИСКРЕТНИХ ВІДЛІКІВ**

**Мета:** навчитися виконувати поновлення періодичних сигналів у середовищі LabView за допомогою операції згортки.

**Програма роботи**

1. Розробка віртуальних підприладів для поновлення сигналу.
2. Розробка ВП «Поновлення сигналів».
3. Складання звіту

**Порядок виконання роботи****Етап 1. Розробка віртуальних підприладів для поновлення сигналу.**

Задача поновлення сигналу полягає у отриманні заданого аналогового сигналу, який пройшов операцію аналого-цифрового перетворення. Для розуміння суті завдання розглянемо лицьову панель рис. 6.1. На рисунку показаний аналоговий сигнал, відліки сигналу та його варіант, поновлений з відліків. Також показано так зване ядро поновлення.

На верхньому графіку осцилограми відліки сигналу представлено у вигляді відміток.

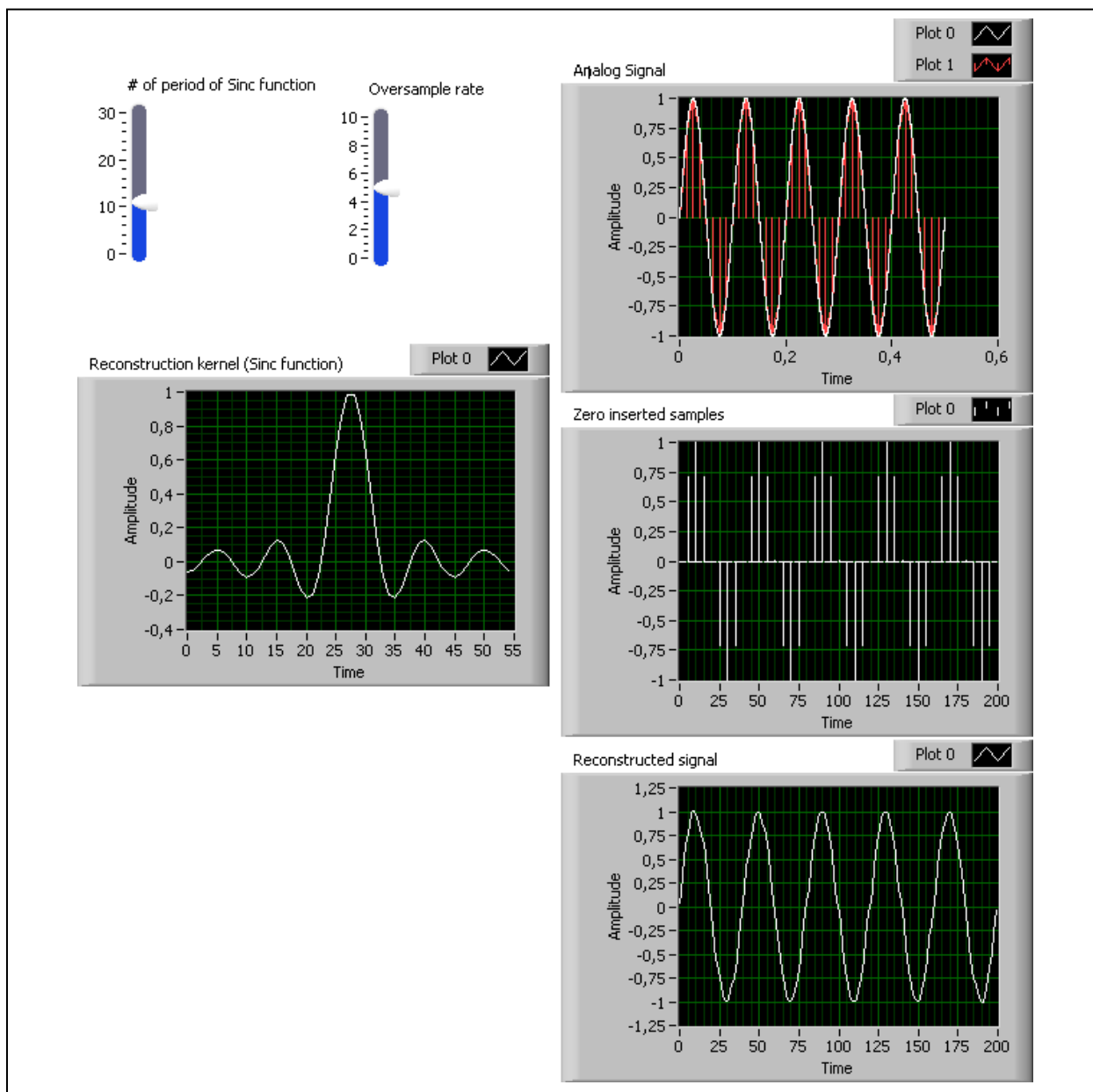


Рис. 6.1. Лицьова панель ВП системи поновлення синусоїдного сигналу з дискретних відліків

Аналоговий сигнал поновлюється з дискретизованого сигналу завдяки використанню операції згортки та функції відліків (sinc-функції) згідно рівнянню

$$v_a(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} v_a[kT_s] \left[ \text{sinc}\left(\frac{t - kT_s}{T_s}\right) \right] \quad (1)$$

Рівняння (1) отримано згідно теореми Найквіста. В основі поновлення лежить сумування зміщених функцій відліків (функцій sinc). Функції відліків складно генерувати за допомогою схеми технічних методів. Тому на практиці використовуються наближені методи.

Побудуємо віртуальний прилад для поновлення сигналів з наступними характеристиками. Синусоїду з амплітудою 1 та частотою 10 Гц



дискретизовано з частотою 80 Гц. Для відображення поновленого аналогового сигналу необхідна частота дискретизації та кількість відліків у 100 разів більше, ніж для дискретного сигналу.

Для розробки ВП для поновлення періодичного сигналу необхідно розробити два типових підприлади:

- 1) «Додати нулі» – *Add Zeros*. Використовується для того, щоб вставити нулі між послідовно отриманими сигналами та імітувати дискретизацію з підвищеною частотою;
- 2) «Функція відліків» – *Sinc Function*. Призначена для створення відліків *sinc*-функції з певною кількістю перетинів нуля.

Блок-діаграма віртуального підприладу «додати нулі» *Add Zeros.vi* зображена на рис. 6.2.

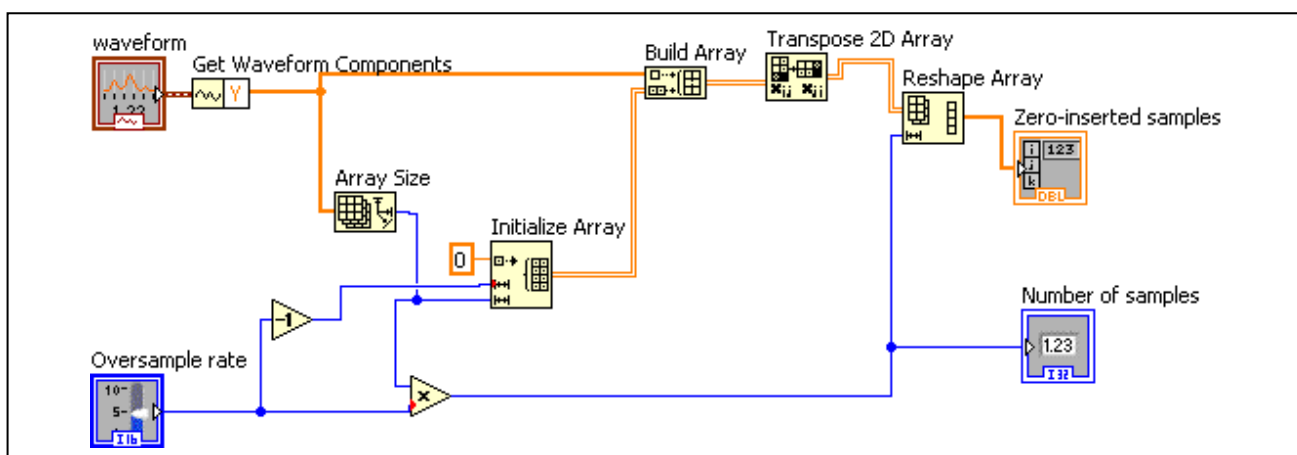


Рис. 6.2. ВПП «Додати нулі»

ВПП «додати нулі» поєднує нульові ряди у одновимірний масив сигналу. Після цього поєднання двовимірний масив перетворюється у одновимірний таким чином, що нулі чередуються з відліками. Кількість нулів, що вставлено між відліками, можна контролювати, підключив числовий елемент управління. Елемент *waveform* (осцилограма вихідного сигналу), показаний на блок-діаграмі, отримає вхідний сигнал від іншого ВП. Щоб створити його, натисніть правою кнопкою по функції *Get Waveform Components* та оберіть пункт *Create/Control*. У ВП «додати нулі» повинно бути два виходи: масив відліків з додаванням нулів та загальна кількість відліків. Входи поєднані з елементами управління *Waveform* та *Oversample Rate*, виходи – з елементами індикації типу масив та типу числовий індикатор. Зверніть увагу, що для числового регулятора та індикатора необхідно з контекстного меню обрати відповідний тип даних з пункту *Representation/ I16* та *I32*.

Віртуальний підприлад *Sinc Function* виконує операцію генерування функції відліків (рис. 6.3). Її параметрами є кількість відліків, час затримки та інтервал дискретизації.

Створивши блок-діаграму, як показано на рис. 6.3., встановіть тип даних для числових регуляторів та індикаторів з меню *Representation/ I16* – цілі числа. Перейдіть у вікно лицьової панелі, створіть унікальну іконку для розробленого ВПП (підведіть до стандартної іконки мишку, викличте контекстне меню та

оберіть пункт *Edit Icon*). Потім встановіть зв'язок між конекторами та об'єктами лицьової панелі (натисніть правою кнопкою мишки на новій іконці, оберіть пункт *Show Connector*; оберіть оптимальну кількість входів і виходів розробленого підприладу зі стандартної палітри контекстного меню *Patterns*).

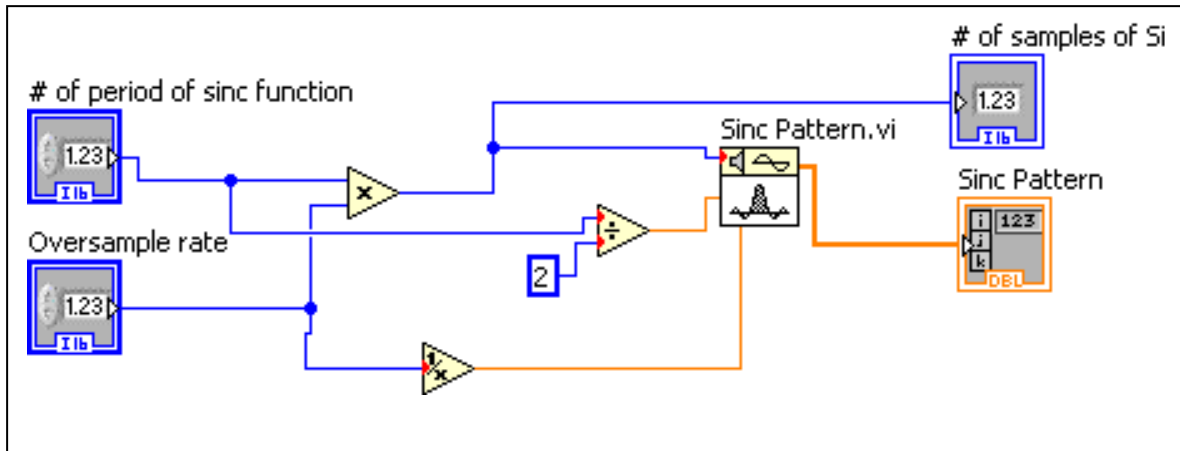


Рис. 6.3. ВПП *Sinc Function*

## Етап 2. Розробка ВП «Поновлення сигналів».

Для поновлення дискретизованого сигналу розробимо ВП, блок-діаграма якого зображена на рис. 6.4.

Два сигнали, які генеруються ВПП (сигнал з доданими нулями та сигнал відліків), підлягають операції згортки. Операція згортки здійснюється у LabView за допомогою ВП *Convolution* (Згортка) з палітри меню *Functions/Signal Processing/Signal Operation/Convolution*. Зверніть увагу, що число елементів згорнутого масиву менше, ніж сума відліків цих двох сигналів.

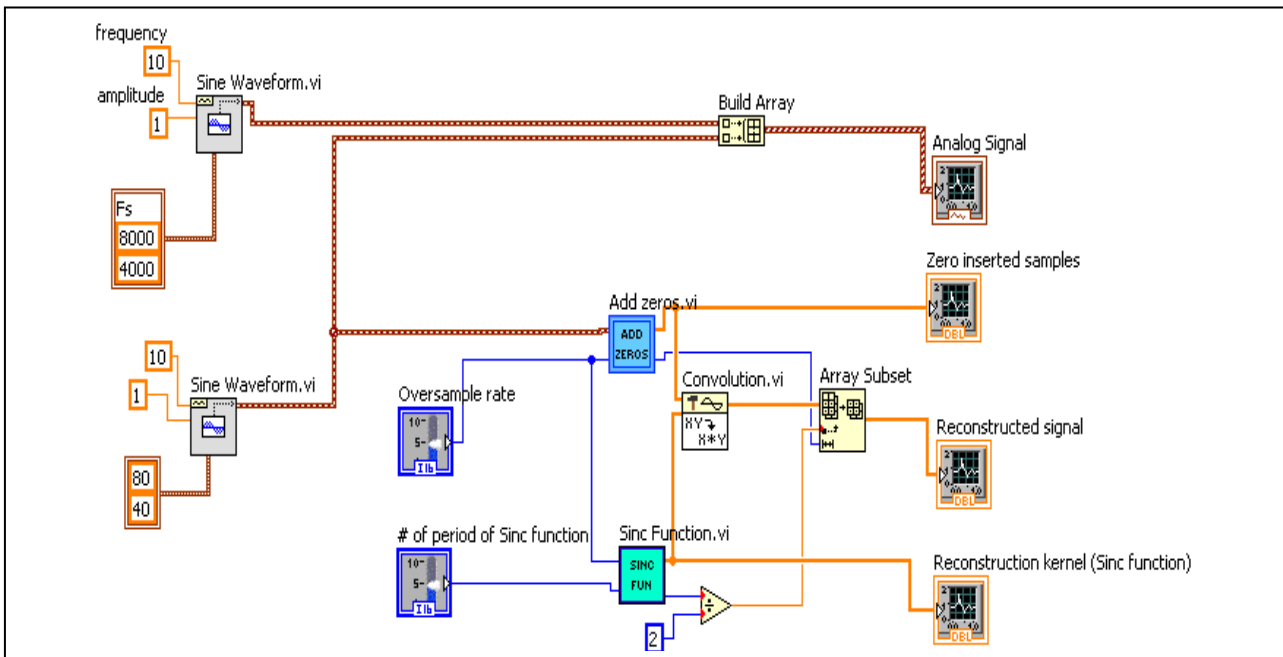


Рис. 6.4. Блок-діаграма системи поновлення сигналів з відліків

### **Завдання:**

1. Вивчити процес поновлення аналогового сигналу за відповідним йому дискретним.
2. Розробити ВП для поновлення сигналу за допомогою підприладів *Sinc Function* та *Add Zeros*.

### **Контрольні запитання**

1. Наведіть теорему Найквіста та поясніть її фізичне значення.
2. За якою умовою і як можливо точно відтворити аналоговий сигнал по відповідному йому дискретному сигналу?
3. Чи можна за відомим спектром дискретного сигналу знайти спектр відповідного йому аналогового сигналу?
4. Яким чином реалізуються підприлади *Sinc Function* та *Add Zeros*?
5. Поясніть поняття «згортка» та її призначення.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7-ТЕСК РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ**

**Мета:** навчитися створенню цифрових фільтрів у середовищі LabView.

### **Програма роботи**

1. Вивчення базових положень щодо створення сучасних цифрових фільтрів у середовищі *LabView*.
2. Створення та дослідження системи КІХ-фільтрації.
3. Складання звіту

### **Порядок виконання роботи**

**Етап 1. Вивчення базових положень щодо створення сучасних цифрових фільтрів у середовищі *LabView*.**

Фільтрація цифрових сигналів – фундаментальне поняття у цифровій обробці сигналів. Сучасні методи проектування цифрових фільтрів класифікують на дві основні групи – проектування фільтрів з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ) та з нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ).

Вбудовані інструменти LabView для створення систем цифрової фільтрації представлені у основній палітрі меню *Processing/ Filters ...*

Відповідно до існуючих методів проектування сучасних цифрових фільтрів у вказаній палітрі меню окрім основних стандартних типів фільтрів запропоновані дві підпалітри – додаткова НІХ-фільтрація (*Advanced IIR Filtering*) та додаткова КІХ-фільтрація (*Advanced FIR Filtering*).

В основній палітрі розміщено функції, які реалізують фільтри Баттерворта, Чебишева, Бесселя та еліптичні фільтри, а також набір фільтрів з рівномірними

пульсаціями (*Equi-Ripple*) медіанний фільтр та фільтр *1/f*. Необхідно відмітити, що два ВП цифрових фільтрів та експрес ВП «Фільтр» розташовані у палітрі «Узгодження осцилограм» (*Waveform Conditioning*) палітри «Аналіз» (*Analyze*).

Фільтри класифікують наступним чином:

1. Нелінійні фільтри:

а) медіанний фільтр.

2. Лінійні фільтри:

а) НІХ –фільтри (рекурсивні) – Баттерворта, еліптичні фільтри (фільтри Кауера), Чебишева, інверсні Чебишева, Бесселя;

б) КІХ-фільтри (нерекурсивні).

Лінійні фільтри характеризуються виконанням принципу суперпозиції та пропорційності, тобто:

$$L\{as_1(t) + bs_2(t)\} = aL\{s_1(t)\} + bL\{s_2(t)\},$$

де  $a$  та  $b$  – константи;  $s_1(t)$  та  $s_2(t)$  – сигнали;  $L\{ \}$  – лінійна операція фільтрації.

Вираз для КІХ-фільтра представляє собою наступне різницеве рівняння:

$$y[n] = \sum_{k=0}^N b_k x[n-k],$$

де  $b$  – коефіцієнти фільтра,  $N$  – число нулів, або порядок фільтра. Згідно до цього рівняння, сигнал  $y[n]$  на виході КІХ-фільтра залежить від поточного вхідного відліку та від декількох попередніх вхідних відліків  $x[n-k]$ .

Для проектування оптимального КІХ-фільтра зазвичай використовується метод рівномірних пульсацій (метод Ремеза).

Різницеве рівняння НІХ-фільтра записується наступним чином:

$$y[n] = \sum_{k=0}^N b_k x[n-k] - \sum_{k=1}^M a_k y[n-k],$$

де  $b$  та  $a$  – коефіцієнти фільтра,  $N$  та  $M$  – кількість нулів та полюсів відповідно. Таким чином, поточний вихідний сигнал НІХ-фільтра  $y[n]$  формується з декількох відліків вхідного сигналу у попередні моменти часу  $y[n-k]$ , а також поточного та декількох попередніх відліків вхідних сигналів. При проектуванні НІХ-фільтрів широко розповсюджені декілька методів, у тому числі метод Баттерворта, інверсний метод Чебишева та еліптичний.

У цілому, у порівнянні з НІХ-фільтрами, КІХ-фільтри потребують меншої точності та є більш стійкими при обчисленнях. Стійкість НІХ-фільтрів залежить від того, розташовані його полюса у середині одиничної окружності на комплексній площині або ні.

Передавальна функція НІХ-фільтра визначається наступним чином:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_M z^{-M}},$$

Добре відомо, що з точки зору стійкості реалізація у прямій формі чуттєва до похибки квантування коефіцієнтів. Поєднання у вигляді каскаду другого порядку дає менш чуттєві до похибки квантування характеристики. Наведена вище передавальна функція може бути записана наступним чином:

$$H\{z\} = \prod_{k=1}^{N_s} \frac{b_{0k} + b_{1k} z^{-1} + b_{2k} z^{-2}}{1 + a_{1k} z^{-1} + a_{2k} z^{-2}}$$

де  $N_s = \left\lceil \frac{N}{2} \right\rceil$  тут квадратні дужки позначають найбільше ціле число, яке виявляється меншим або рівним значенню виразу у дужках.

Типові входні сигнали інструментів LabView щодо проектування фільтрів розглянуто нижче.

Вхід «тип фільтра» (*filter type*) визначає тип смуги пропускання фільтру (рис. 7.1):

- 0 – фільтр нижніх частот (*Lowpass*);
- 1 – фільтр верхніх частот (*Highpass*);
- 2 – смуговий фільтр (*Bandpass*);
- 3 – режекторний фільтр (*Bandstop*).

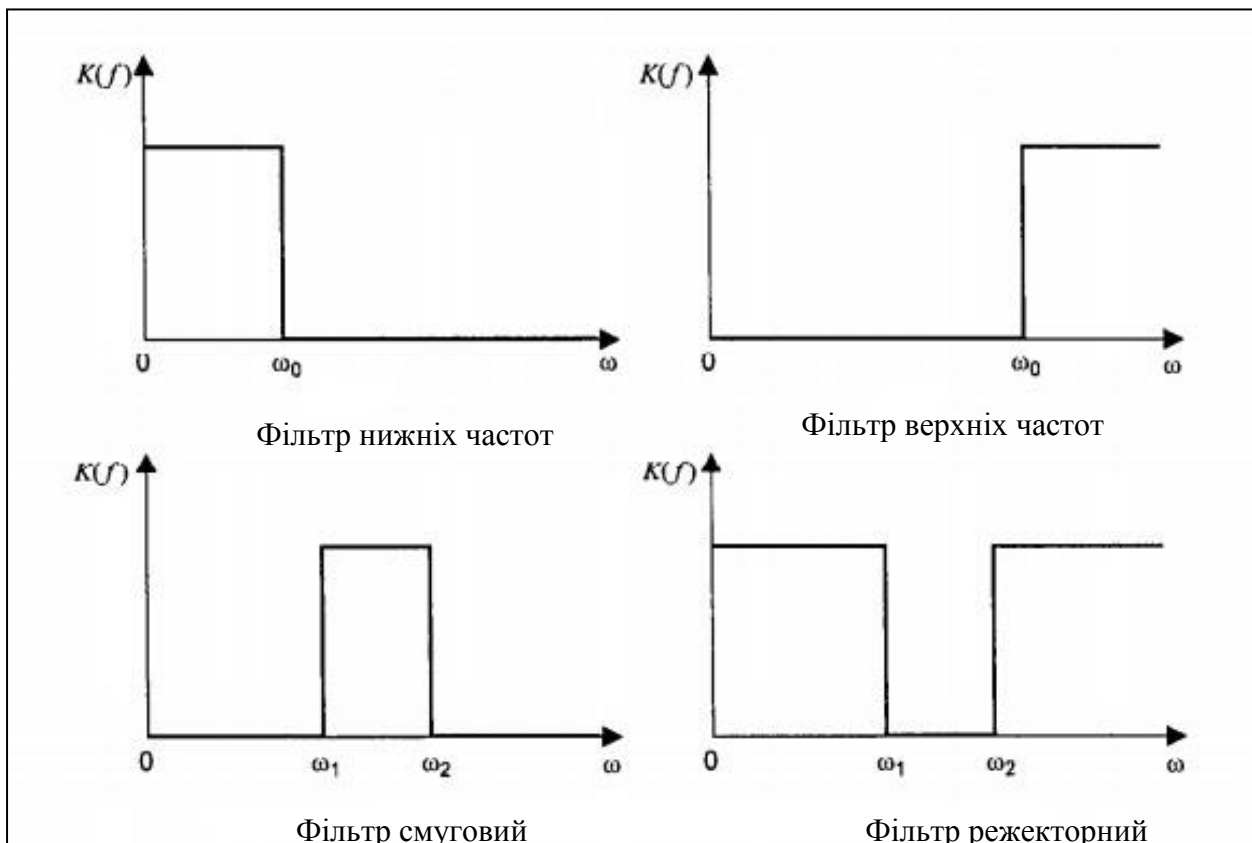


Рис. 7.1. Амплітудно-частотні характеристики ідеальних фільтрів різних типів

Вхід «частота дискретизації» (*sampling freq: fs*) визначає частоту вибірок. Частота дискретизації повинна бути більше, ніж 0. За умовчанням її значення дорівнює одинці.

Вхід «верхня частота зрізу» (*high cutoff freq: fh*) ігнорується для фільтрів типу 0 (фільтр нижніх частот) та 1 (фільтр верхніх частот). Для фільтрів типу 2 (смуговий фільтр) або 3 (ежекторний фільтр) верхня частота зрізу повинна бути більше, ніж нижня частота зрізу, та повинна відповідати критерію Найквіста  $0 < f_h < 0,5f_s$ . Значення входу «нижня частота зрізу» (*low cutoff freq: fl*) за умовчанням дорівнює 0,125.

Вхід «порядок» (*order*) визначає порядок фільтра, який повинний бути більшим за нуль. За умовчанням його значення дорівнює 2.

## Етап 2. Створення та дослідження системи КІХ-фільтрації.

У якості програмної моделі КІХ-фільтра використовуємо ВП *Digital FIR Filter* з палітри меню *Function/ Signal Processing/ Waveform Conditioning/ Digital FIR Filter*. Також системи цифрової фільтрації можуть бути побудовані з використанням НІХ-фільтрів з палітри меню *Function/ Signal Processing/ Waveform Conditioning/ Digital IIR Filter*. Вказані ВП конфігуруються на основі специфікації фільтра, тому нема необхідності отримувати коефіцієнти фільтра перед побудовою системи фільтрації. У результаті специфікація може підстроюватися у процесі роботи. Блок-діаграма розробленої системи цифрової фільтрації показана на рис. 7.2.

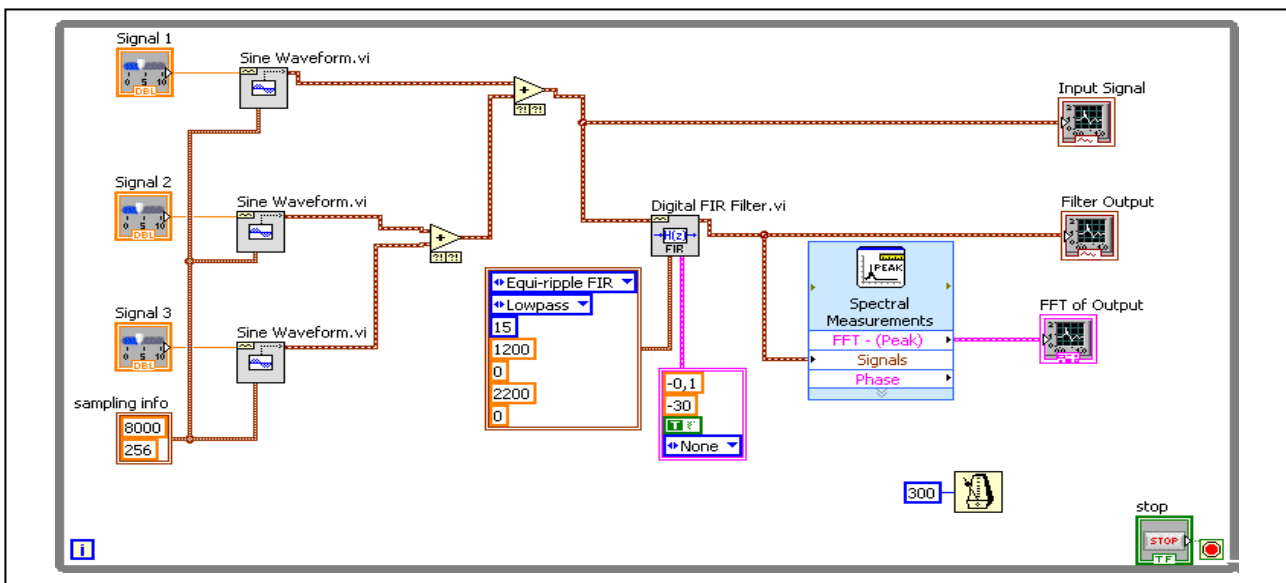


Рис. 7.2. Блок-діаграма для системи КІХ-фільтрації

Для ВП *Digital FIR Filter* специфікація фільтра визначається за допомогою двох входів у формі кластерів констант. Для створення кластеру констант необхідно натиснути правою кнопкою мишки на відповідних виводах ВП та обрати пункт «Створити константу». Кластер *FIR filter specification* задає тип фільтра, кількість секцій та верхню/нижню смуги пропускання або затримки. Інший кластер констант, що задає коефіцієнт підсилення у смузі пропускання,

ослаблення у полосі затримки ти тип вікна, підключається до входу *FIR filter specification terminal*.

Створіть об'єкти лицьової панелі, встановіть їх максимальні значення (з контекстного меню – пункт *Properties/ Scale*) та значення по умовчання (з контекстного меню – пункт *Data Operations/ Make Current Value Default*), щоб розроблена лицьова панель відповідала представленій на рис. 7.3.

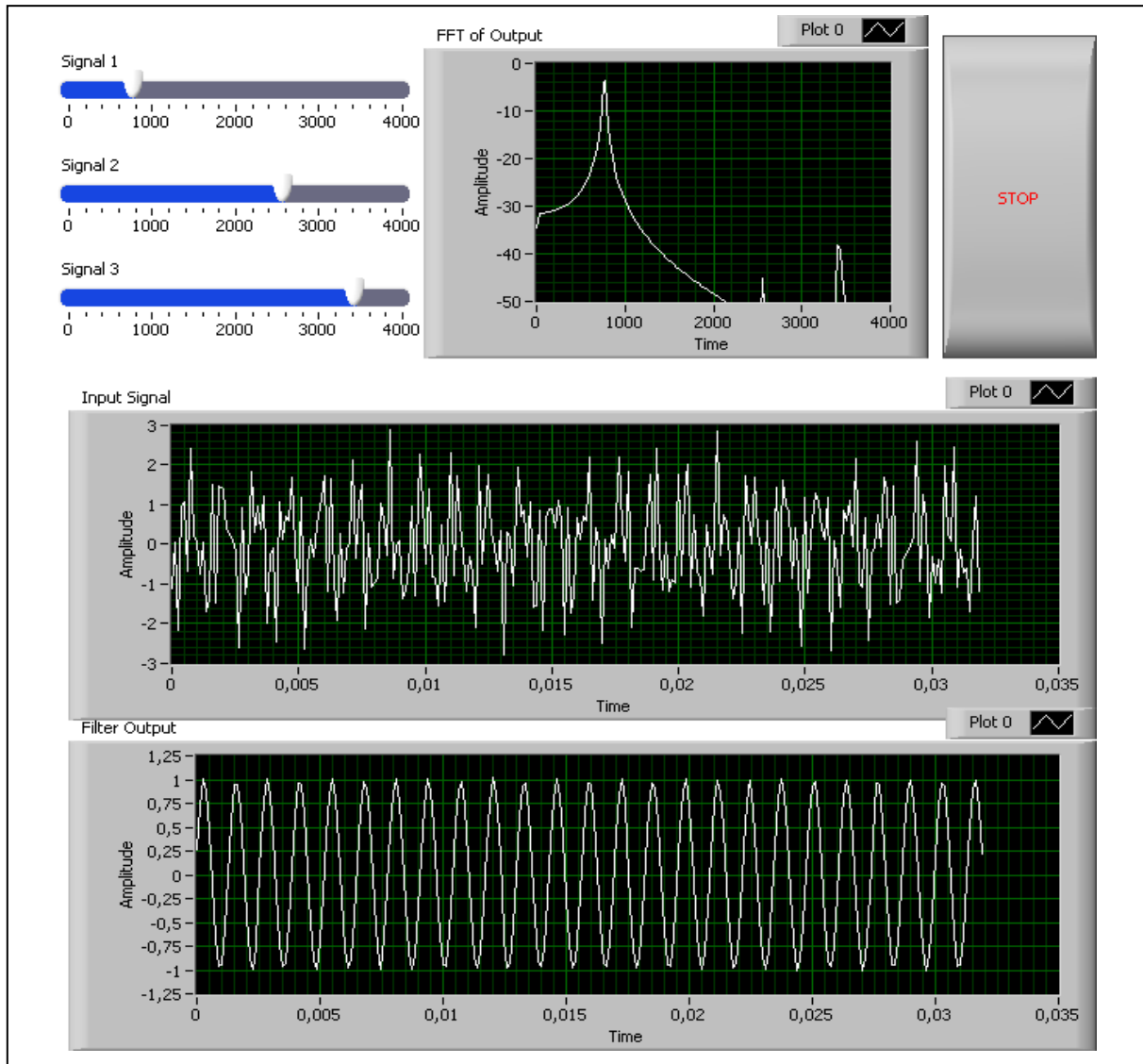


Рис. 7.3. Лицьова панель для системи КІХ-фільтрації

### Завдання:

1. Вивчити типи фільтрів та їх основні характеристики, методи проектування та порядок реалізації цифрових фільтрів
2. Розробити ВП системи КІХ-фільтрації

### Контрольні запитання

1. У чому полягає різниця КІХ та НІХ фільтрів?
2. Наведіть типи фільтрів та їх характеристики
3. Для чого використовуються ФНЧ в процесі поновлення сигналів?

4. Поясніть поняття передавальної функції цифрового фільтру та як її знайти за різницеvim рівнянням.
5. У чому полягає відмінність частотних характеристик аналогових та цифрових фільтрів?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8-ТЕСК РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

**Мета:** навчитися створенню систем адаптивної фільтрації у середовищі LabView.

### Програма роботи

1. Обробка по точкам даних.
2. Розробка ВП для реалізації алгоритму найменшого середньоквадратичного.
3. Використання осцилограми, здвигового регістру та вузлу зворотного зв'язку.
4. Складання звіту

### Порядок виконання роботи

#### Етап 1. Обробка по точкам даних.

У даній лабораторній роботі ставимо завдання розробки системи адаптивної фільтрації, що використовує алгоритм найменшого середньоквадратичного. Адаптивна фільтрація використовується у різних прикладних задачах, у тому числі для зменшення шумів та ідентифікації системи. У більшості випадків коефіцієнти КІХ-фільтра змінюються у відповідності із сигналом помилки, щоб отримати необхідний сигнал.

При ідентифікації системи поведінка невідомої системи моделюється шляхом підключення до її входу та виходу. Адаптивний КІХ-фільтр може використовуватися для підстройки під вихідний сигнал невідомої системи  $d[n]$  при подачі на їх входи одного й того ж сигналу. Як показано на рис. 8.1, різниця між виходом системи  $d[n]$  та виходом адаптивного КІХ-фільтру  $y[n]$  складає вектор помилки  $e[n]$ , який використовується для корекції коефіцієнтів фільтра.



Рис. 8.1. Блок-схема системи ідентифікації



У залежності від вектору похибки, або різниці між виходами цих двох систем, значення коефіцієнтів КІХ-фільтра змінюються згідно наступного рівняння, що відоме як алгоритм найменшого середньоквадратичного (*Least Mean Square - LMS*):

$$h_n[k] = h_{n-1}[k] + \delta e[n]x[n - k],$$

де  $h$  – відгук на одиничний імпульс, або коефіцієнти КІХ-фільтра,  $\delta$  – розмір шагу. Така адаптація примушує вихідний сигнал  $y[n]$  наближатися до  $d[n]$ . Проведення адаптації з малим шагом гарантує збіжність, але призводить до повільності процесу. Великий шаг прискорить адаптацію, але може призвести до неточності рішення.

У якості невідомої системи у лабораторній роботі застосований НІХ-фільтр сьомого порядку зі смугою пропускання від  $\pi/3$  до  $2\pi/3$  радіан. У роботі проектується адаптивний КІХ-фільтр, який підстроюється до характеристики цієї системи.

В роботі застосовується поточечна обробка даних у LabView. Поточечна обробка – це скалярний тип даних. Він використовується для задач обробки даних у реальному масштабі часу, наприклад, для фільтрації сигналів, оскільки поточечна обробка дозволяє синхронізувати входи та виходи. З іншого боку, при обробці масивів даних існує затримка між отриманням даних та їх обробкою.

На рис. 8.2. показано блок-діаграму системи НІХ-фільтрації, у якій використовується обробка по точках даних.

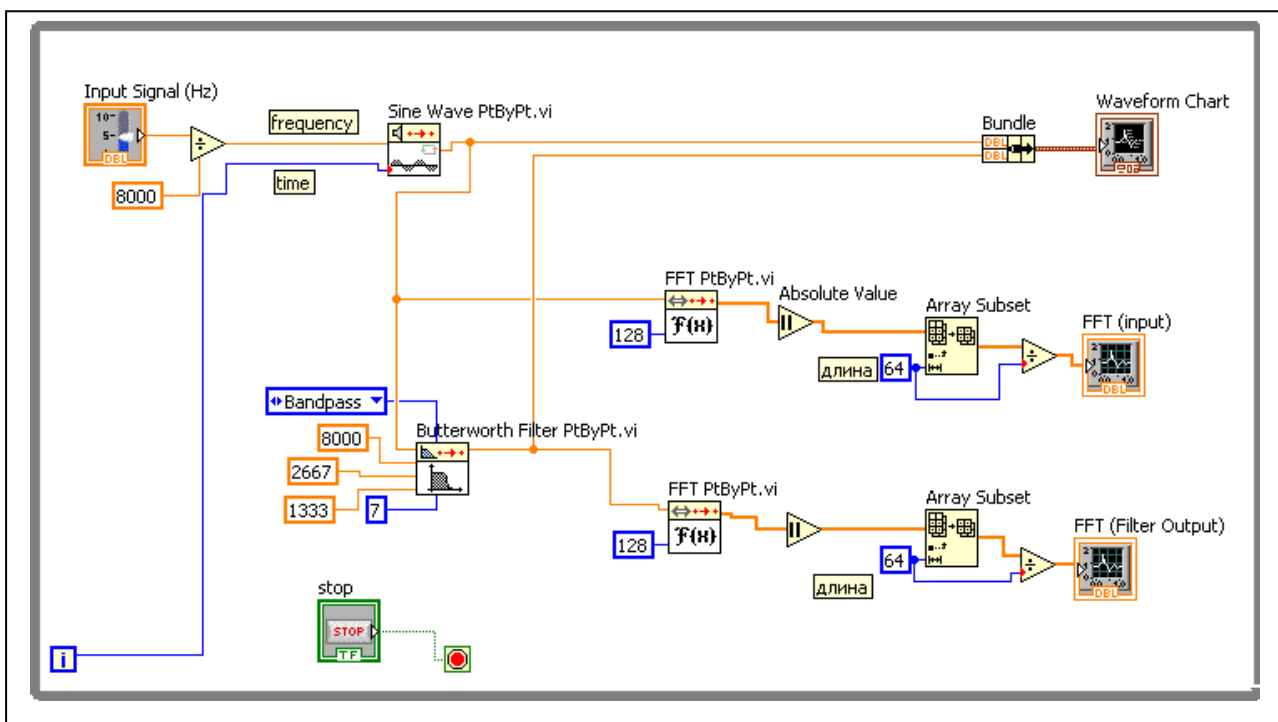


Рис. 8.2. Блок-діаграма системи НІХ-фільтрації

У кожній ітерації циклу за умовою формується один відлік вхідного сигналу за допомогою ВП *Sine Wave PtByPt* (поточена синусоїда) з палітри меню *Functions/ Signal Processing/ Point By Point/ Signal Generation PtByPt/ Sine Wave PtByPt* (функції/ обробка сигналів/ По точках/ Поточечне генерування сигналу). Даний ВП потребує нормованої вхідної частоти. Тому частота сигналу поділена на частоту дискретизації 8000 Гц. Отриманий сигнал підключений до частотного входу віртуального приладу. Окрім того, лічильник кількості ітерацій циклу за умовою підключений до виводу *time* (час).

ВП *Butterworth Filter PtByPt* (поточений фільтр Баттерворта) з палітри меню *Functions/ Signal Processing/ Point By Point/ Filters PtByPt* використовується у якості НІХ-фільтра. Необхідно ввести параметри фільтра та падати їх ВП. Шляхом натискання правою кнопкою по виводу *filter type* (тип фільтра) необхідно обрати з меню швидкого доступу *Create/ Constant* та створити константу перелічення, у якій у випадяючому меню перераховані типи фільтрів.

Відфільтрований вихідний сигнал далі досліджується у часовій та частотній областях. Реальна частина ВП *FFT PtByPt* (швидке перетворення Фур'є по точках) з палітри меню *Function/ Signal Processing/ Point By Point/ Transforms PtByPt/ FFT PtByPt* дозволяє побачити частотну характеристику. Зверніть увагу, що даний ВП накопичує кадр вхідних відліків для обчислення швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). З 128 вхідних відліків формуються 128 комплексних значень ШПФ. Тільки перша половина значень відображується у нормованих значеннях, а друга частина є дзеркальним відображенням першої. Для цього використовується функція *Array SubSet* (Підмасив). Відмітимо, що при відсутності вхідного сигналу індекс за умовчанням встановлено у значення нуль. Результат ШПФ потім відображається на графіку осцилограми *Waveform Graph*.

Для спостереження сигналу у часовій області використовується функція *Bundle* (поєднати), яка поєднує вхідний та вихідний сигнали та відображує їх на одній і тій самій розгортці осцилограми *Waveform Chart*. Лицьова панель системи НІХ-фільтрації показана на рис.8.3:

- а) сигнал відфільтровується при частоті нижче смуги пропускання;
- б) вихідний сигнал відповідає вхідному у смузі пропускання.

Для того, щоб відобразити два сигнали на одній осцилограмі *Waveform Chart*, необхідно з її контекстного меню обрати пункт *Stack Plots* (набір графіків). Щоб змінити довжину області відображення, необхідно натиснути на області побудови графіка *Waveform Chart* та обрати *Chart History Length* (довжина історії графіка). При цьому з'явиться діалогове вікно, у якому можна змінити кількість відліків для відображення. Введіть для даного прикладу 64 для довжини буфера.

Змінимо властивості об'єктів лицьової панелі наступним чином: перейменуйте вісі графіка осцилограми *Waveform Graph* як показано на рис. 8.3. Необхідно також змінити коефіцієнти масштабування вісі частоти для *Waveform Graph*. Для масштабування вісі абсцис від 0 до  $\pi$  у якості множника використовується  $4000/64=62,5$ , тобто 4000 Гц. Натисніть правою кнопкою

мишки на *Waveform Graph* та оберіть пункт *Properties*. При цьому відкриється вікно властивостей графіка осцилограми.

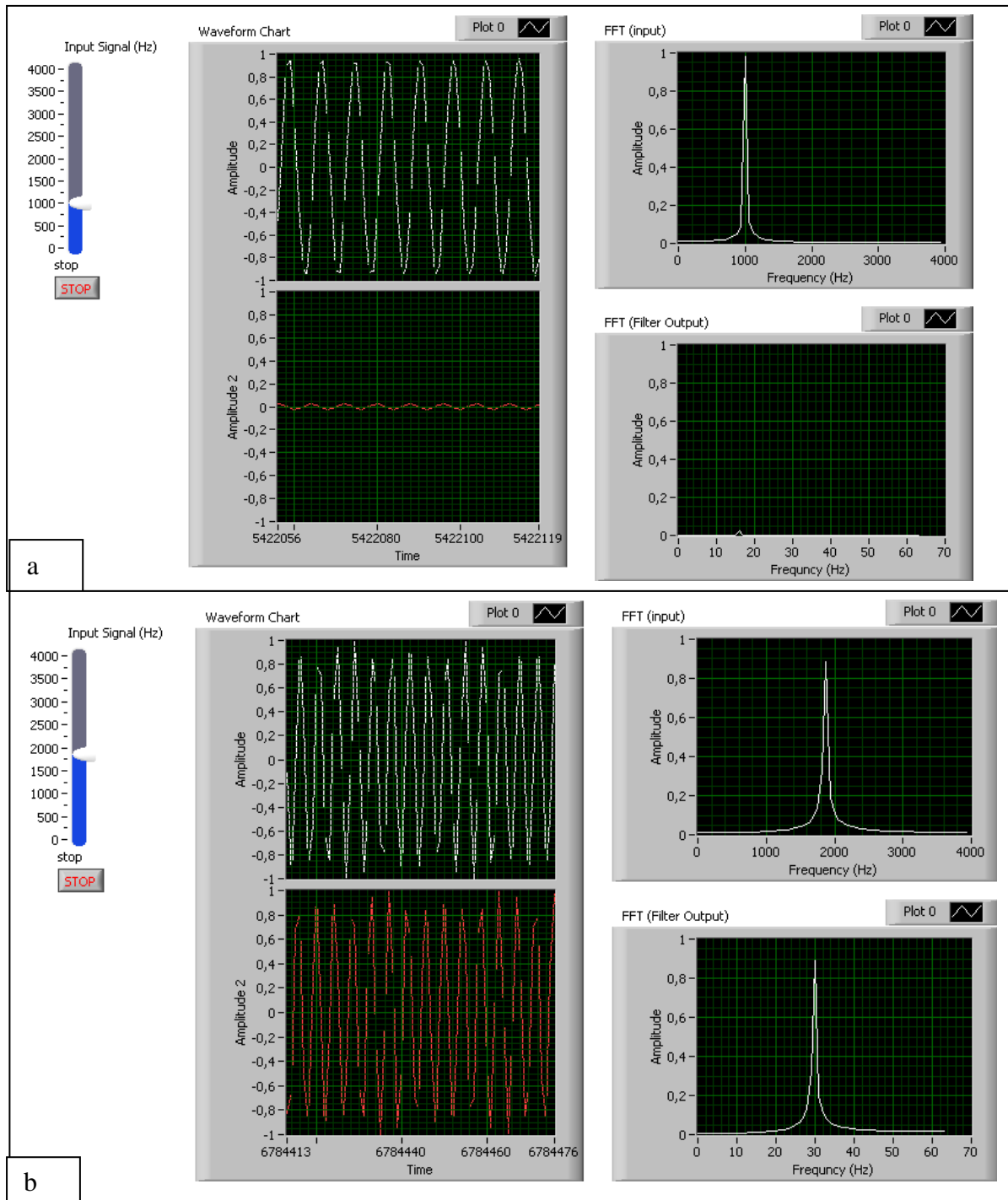


Рис. 8.3. Лицьова панель системи НІХ-фільтрації

Натисніть на вкладці *Scales* (масштаби) та оберіть вісь *Frequency (Hz)*, щоб відредагувати її властивості. Введіть множник 62,5 під полем *Scaling factors* (коефіцієнти масштабування). Опція *Autoscal* (авто масштабування) повинна бути заборонена для осі ординат, щоб спостерігати за зменшенням амплітуди вихідного сигналу фільтра.

Щоб перевірити правильність роботи розробленого віртуального фільтра, задайте частоту вхідного сигналу та запустіть віртуальний прилад.

Спостерігайте за вихідною характеристикою та переконайтесь, що вихідний сигнал відповідає вхідному у смузі пропускання (1333..2667 Гц) та відфільтрується у смузі затримки (0..1333 та 2667..4000 Гц).

## Етап 2. Розробка ВП для реалізації алгоритму найменшого середньоквадратичного.

На рис. 8.4. Показано блок-діаграму віртуального приладу «Алгоритм найменшого середньоквадратичного» – LMS.

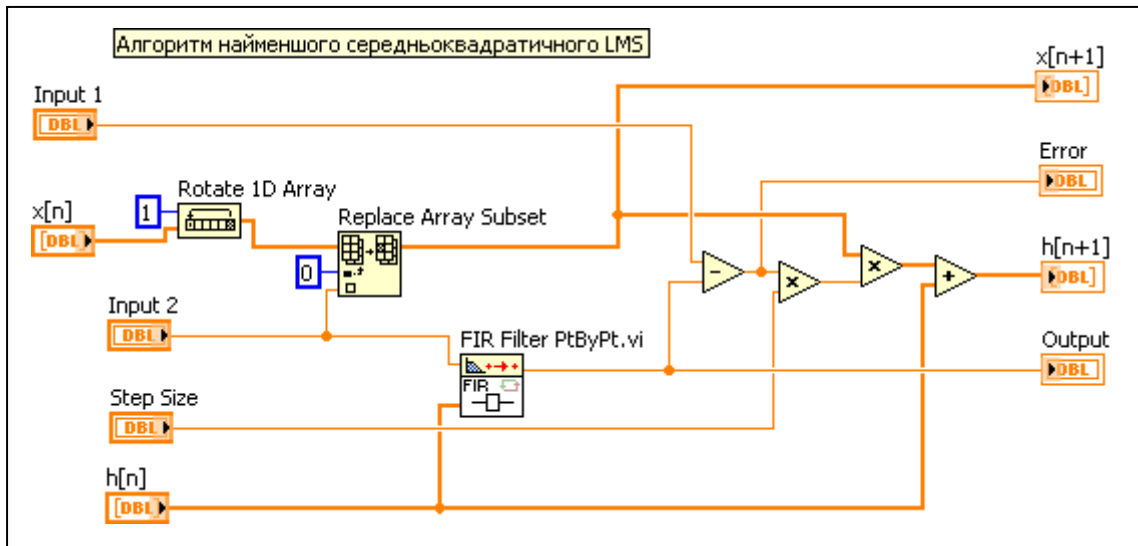


Рис. 8.4. Блок-діаграма ВП LMS

Підприлад використовується при розробці системи адаптивної ідентифікації для підстройки коефіцієнтів КІХ-фільтру згідно алгоритму найменшого середньоквадратичного значення вектору похибки. Вектор похибки дорівнює різниці між виходами невідомої системи та адаптивного фільтру.

Для організації входів та виходів даного підприладу розмістіть на лицьовій панелі графічні елементи (регулятори та індикатори), наприклад, як показано на рис. 8.5.

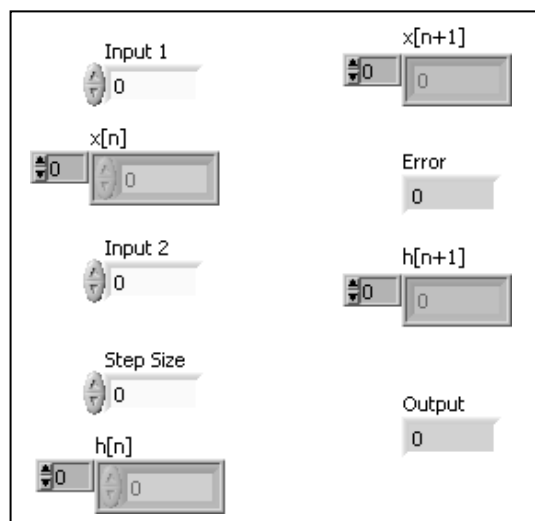


Рис. 8.5. Лицьова панель підприладу LMS

Зверніть увагу на два моменти:

- 1) порядок розміщення регуляторів та індикаторів на лицьовій панелі може бути довільним, але для наглядності сприйняття візуальної інформації рекомендується розташовувати вказані елементи згідно логіці графічного програмування на блок-діаграмі;
- 2) вхідні та вихідні параметри  $x[n]$ ,  $h[n]$ ,  $x[n+1]$ ,  $h[n+1]$  повинні бути одновимірними масивами; інші елементи – скалярами.

Таким чином, віртуальний прилад повинен мати наступні входи: заданий сигнал (*Input 1*), масив відліків з попередньої ітерації ( $x[n]$ ), вхід невідомої системи (*Input 2*), розмір шагу та набір коефіцієнтів фільтру, встановлених на попередній ітерації ( $h[n]$ ). Виходи віртуального приладу – оновлений масив ( $x[n+1]$ ), значення помилок, оновлений коефіцієнт фільтру ( $h[n+1]$ ). Входи та виходи фільтру розташовані зверху вниз.

При розробці ВП задіяні дві функції для роботи з масивами:

- 1) *Functions/ Programming/ Array/ Replace Array Subset* (замінити підмасив);
- 2) *Functions/ Programming/ Array/ Rotate 1D Array* (циклічно здвинути одновимірний масив).

Вказані функції діють у якості циклічного буферу, у якому вхідний відлік з індексом 0 замінюється новим вхідним відліком.

Для поточної обробки даних використовується поточений КІХ-фільтр з палітри меню *Functions/ Signal Processing/ Point By Point/ Filters PtByPt/ FIR Filter PtByPt*. Віртуальному підприладу необхідний вхід з одного елементу та масив коефіцієнтів.

Функція *Substract* (“–”) на блок-діаграмі обчислює помилку, тобто різницю між заданим сигналом та виходом адаптивного КІХ-фільтру. Помилка множиться на розмір шагу  $\delta$  а потім на елементи вхідного масиву для обчислення оновлених коефіцієнтів. Далі оновлені коефіцієнти додаються до попередніх коефіцієнтів  $h[n]$  для обчислення оновлених коефіцієнтів  $h[n+1]$ .

Розроблену програму необхідно оформити як підприлад *LMS* для подальшого її використання при розробці системи адаптивної ідентифікації. Для цього необхідно створити унікальну іконку та розробити поєднувальну панель як це показано на рис. 8.6.

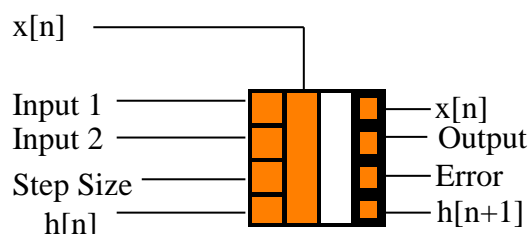


Рис. 8.6. Панель віртуального підприладу LMS

### Етап 3. Використання осцилограми, здвигового регістру та вузлу зворотного зв'язку.

При використанні засобів графічного виводу середовища *LabView* необхідно мати на увазі принципову відміну між графічними індикаторами *Waveform Graph* та *Waveform Chart*. Графік осцилограми *Waveform Graph* будує графік масиву даних, а розгортка осцилограми *Waveform Chart* отримує на вході один або декілька відліків і створює розгортку у часі таким чином, що можна відобразити траєкторію руху сигналу як у осцилографі.

У *LabView* передбачено три різних режиму оновлення *Waveform Chart*:

- 1) панорамна розгортка – *Strip chart*;
- 2) часова розгортка – *Scope chart*;
- 3) часова розгортка з маркером – *Sweep chart*.

У режимі панорамної розгортки дані відображаються безперервно. Коли графік досягає правої межі області побудови, «старі» дані здвигаються ліворуч та побудова нових точок даних продовжується на правій границі. У режимі часової розгортки дані відображаються зліва направо, після чого графік повністю оновлюється (стирається) та його побудова поновлюється з лівої межі області. Режим часової розгортки з маркером схожий на режим часової розгортки, але у ньому старі дані не знищуються – старі та нові дані розділено вертикальною лінією. Щоб обрати раціональний режим розгортки для певної задачі необхідно натиснути правою кнопкою мишки на області побудови графіку та обрати пункт меню *Advanced/ Update Mode*.

Довжину даних, які розташовуються на осцилограмі, можна змінювати. Для цього з контекстного меню графіку необхідно обрати пункт *Chart History Length*.

Далі розробимо блок-діаграму системи адаптації в цілому, як це показано на рис. 8.7.

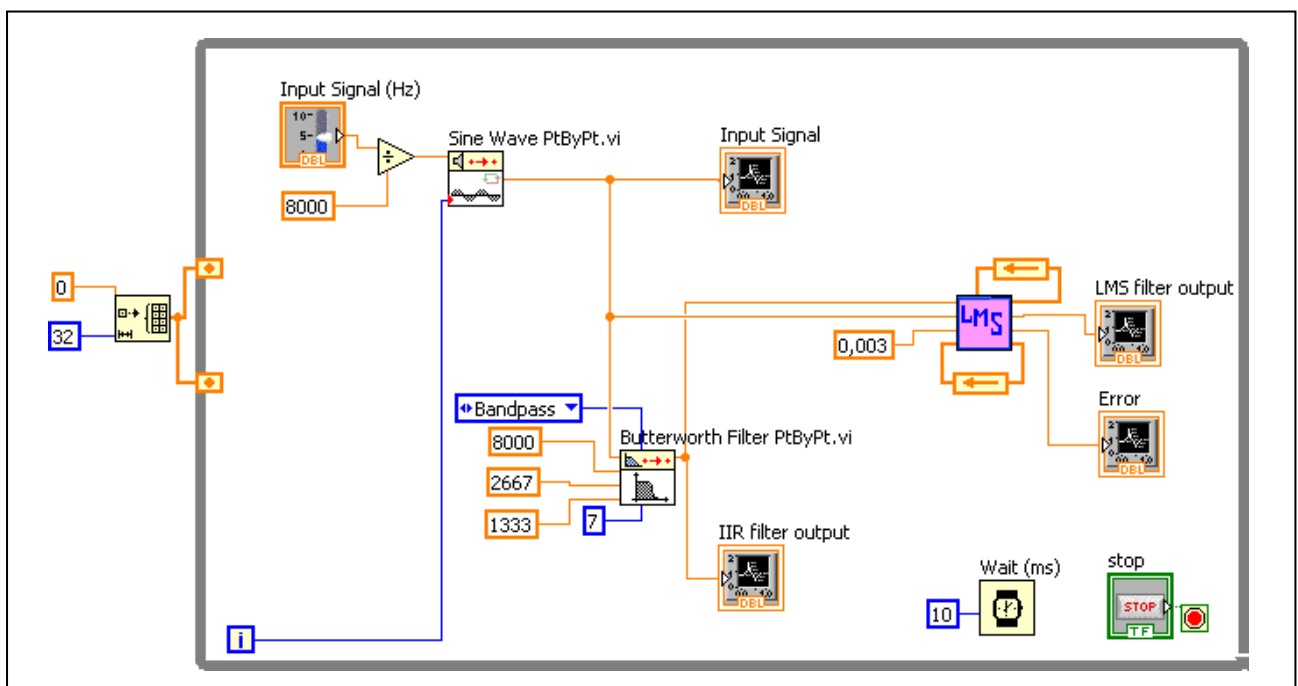


Рис. 8.7. Блок-діаграма системи ідентифікації

На блок-діаграмі використано два вузли зворотного зв'язку *Feedback Node*, які позначені помаранчевими стрілками. Такі вузли використовуються для передачі даних з однієї ітерації в іншу у тілі циклу за умовою або циклу з фіксованим числом ітерацій. Вузол зворотного зв'язку автоматично створюється у середині структури циклу при поєднанні виходу ВП з його входом. За умовчанням на лівій межі циклу для кожного вузла зворотного зв'язку додається вивід ініціалізації (крапка у середині прямокутника). Вивід ініціалізації використовується для ініціалізації значень, які передаються у вузол зворотного зв'язку. Якщо вивід ініціалізації не потрібний, то його можна знищити, натиснувши на ньому правою кнопкою мишки та відмінив *Initializer terminal* (вивід ініціалізації).

Вузол зворотного зв'язку можна замінити здвиговим регістром. Для цього натисніть правою кнопкою на вузлі зворотного зв'язку *Feedback Node*. Потім оберіть *Replace with Shift Register* (замінити на здвигів регістр). По обом бокам від циклу за умовою *While Loop* з'являться здвигові регістри *Shift Register*. Вони поєднані з виводами ВПП *LMS* (алгоритм найменшого середньоквадратичного).

У результаті роботи системи ідентифікації вихід адаптивного LMS-фільтру повинен підстроюватися до виходу НІХ-фільтру, та, відповідно похибка між виходами повинна зменшуватися як це показано на рис. 8.8.

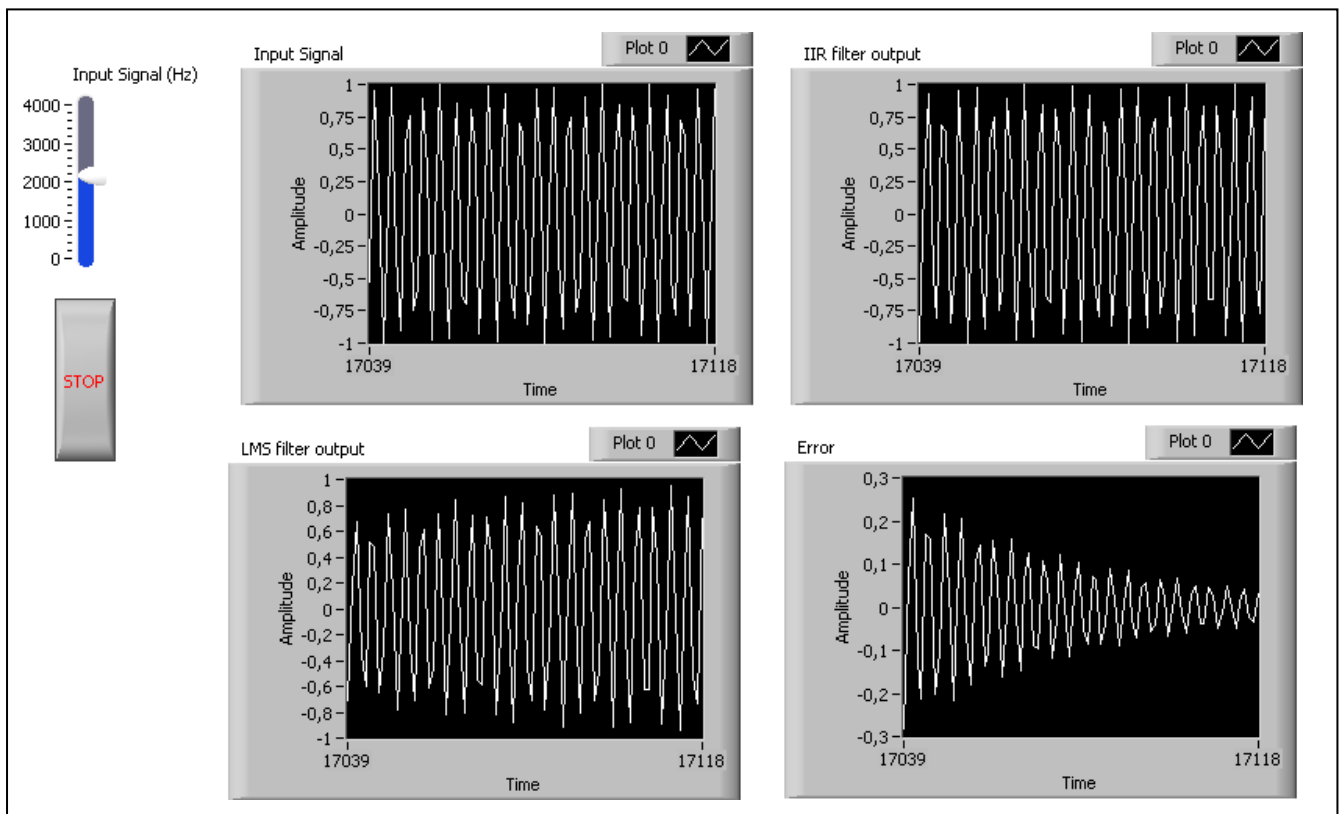


Рис. 8.8. Лицьова панель системи адаптивної ідентифікації.

На блок-діаграмі рис. 8.7. побудована раніше система НІХ-фільтру виступає у якості невідомої системи. Масив коефіцієнтів фільтра та масив вхідних даних передаються з однієї ітерації у наступну через вузол зворотного

зв'язку для поновлення коефіцієнтів фільтрів за допомогою алгоритму найменшого середньоквадратичного.

Обидва ці масиви ініціалізовано 32 нульовими значеннями, так як число відводів фільтру дорівнює 32. Для цього приєднайте до виводу ініціалізації функцію *Initialize Array* (ініціалізація масиву) з палітри меню *Function/ Programming/ Array/ Initialize Array*. Ініціалізація масиву відбувається 32 елементами, які мають нульові значення.

У якості розміру шагу для алгоритму найменшого середньоквадратичного використовується числова константа *Numeric Constant*. Цю величину можна змінювати, контролюючи тим самим швидкість адаптації. У даному прикладі використовується 0,003.

Також розмістіть у циклі за умовою функцію «затримка», для того щоб організувати затримку виконання циклу.

### **Завдання:**

1. Вивчити алгоритми, які використовуються для реалізації системи адаптивної фільтрації.
2. Розробити вимірювальні прилади для реалізації системи НІХ-фільтрації та системи адаптивної ідентифікації

### **Контрольні запитання:**

1. Поясніть, що таке адаптивна фільтрація та її призначення
2. Наведіть приклад реалізації алгоритму найменшого середньоквадратичного у трьох ітераціях.
3. Поточна обробка даних у LabView
4. Як можна реалізувати систему НІХ-фільтрації, наведіть приклад у трьох ітераціях.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9-ТЕСК ПОДАВЛЕННЯ ШУМУ**

**Мета:** проектування системи зменшення шумів у середовищі LabView.

### **Програма роботи**

1. Створення джерела корисного сигналу.
2. Проектування системи зменшення шумів.
3. Складання звіту

### **Порядок виконання роботи**

#### **Етап 1. Створення джерела корисного сигналу.**

Для спостереження за адаптивними можливостями системи зменшення шумів використаємо канал з параметрами, які залежать від часу (рис. 9.1).



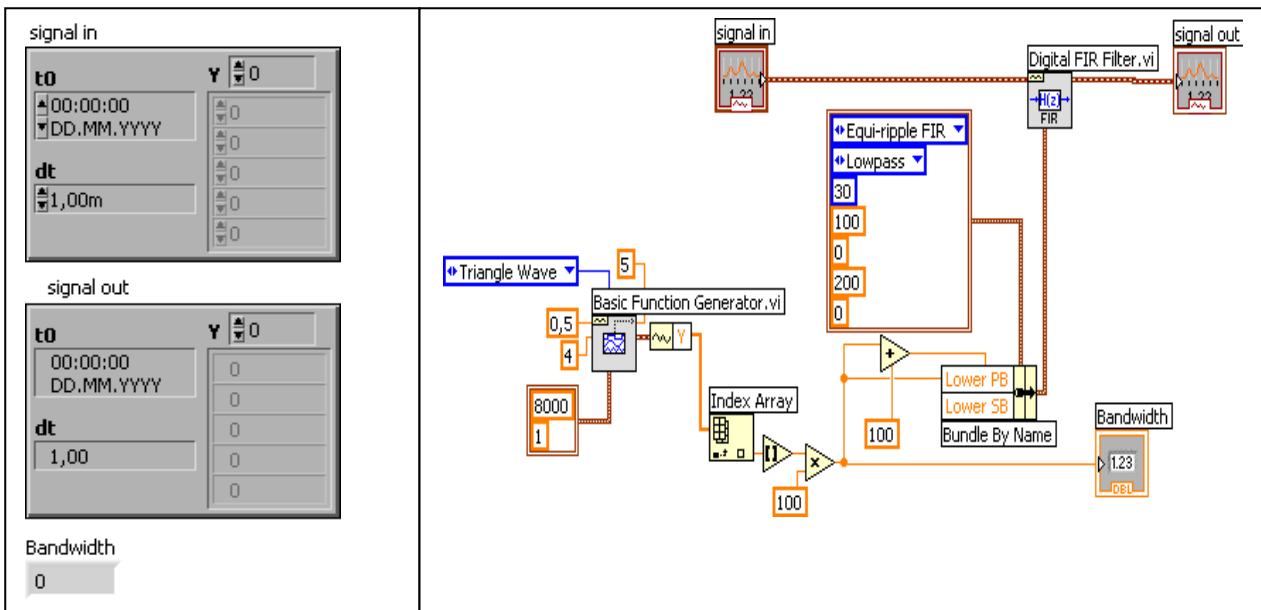


Рис. 9.1. Лицьова панель та блок-діаграма віртуального підприладу для створення каналу з параметрами, які змінюються за часом

У каналі розташований КІХ-фільтр нижніх частот, смуги пропускання та затримки якого змінюються у відповідності з трикутним сигналом. Дискретизація використовується для того, щоб надати алгоритму найменшого середньоквадратичного достатньо часу для адаптації до шумового сигналу. Характеристики каналу змінюються за часом при зміні смуги пропускання в інтервалі від 100 до 900 Гц. Елементи *Signal In*, *Signal Out* переміщуються у віртуальний прилад, що розробляється, з палітри меню *Modern/ IO/ Waveform*.

## Етап 2. Проектування системи зменшення шумів.

Система зменшення шумів повинна мати два входи: зашумлений корисний сигнал та опорний шумовий сигнал. Блок-діаграма системи зменшення шумів представлена на рис. 9.2.

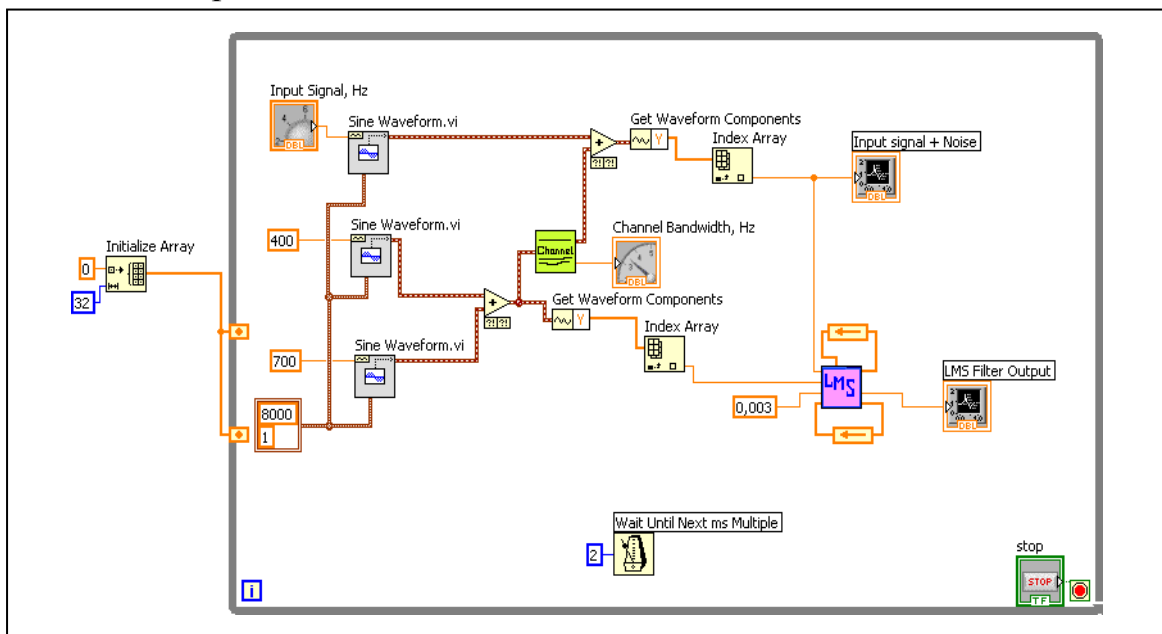


Рис. 9.2. Блок-діаграма системи зменшення шумів

У системі, що проектується, використовується поточена обробка даних. Для цього використовуються функції *Get Waveform Component* (Отримати компоненти осцилограми) та *Index Array* (Індексувати масив) на виході джерел корисного сигналу та завади. Для виконання поточної обробки число відліків осцилограми, яка генерується трьома ВП *Sine Waveform* (Синусоїдний сигнал), встановлено рівним одиниці. Компонент *Y* має тип даних «масив» розміру 1. Функція *Index Array* дістає з масиву скалярні елементи, що забезпечує виконання числових операцій у поточеному режимі. У якості джерела шуму у даній лабораторній роботі використовується сигнал, який представляє собою суму двох синусоїд з частотами 400 Гц та 700 Гц.

Графік осцилограми, що приведений на рис. 9.3, демонструє, що адаптивний фільтр підстроюється до свого вхідного сигналу, зрівноважуючи шумову складову при зміні характеристик каналу.

Як показано на рис. 9.3, на вхід системи подається синусоїда з частотою близько 50 Гц, а шум змінюється в межах 400...900 Гц. Може виникнути потреба змінити розмір шагу у залежності від швидкості збіжності системи. Необхідно упевнитись, що характеристики каналу змінюються не надто швидко та у системи достатньо часу для адаптації до шуму.

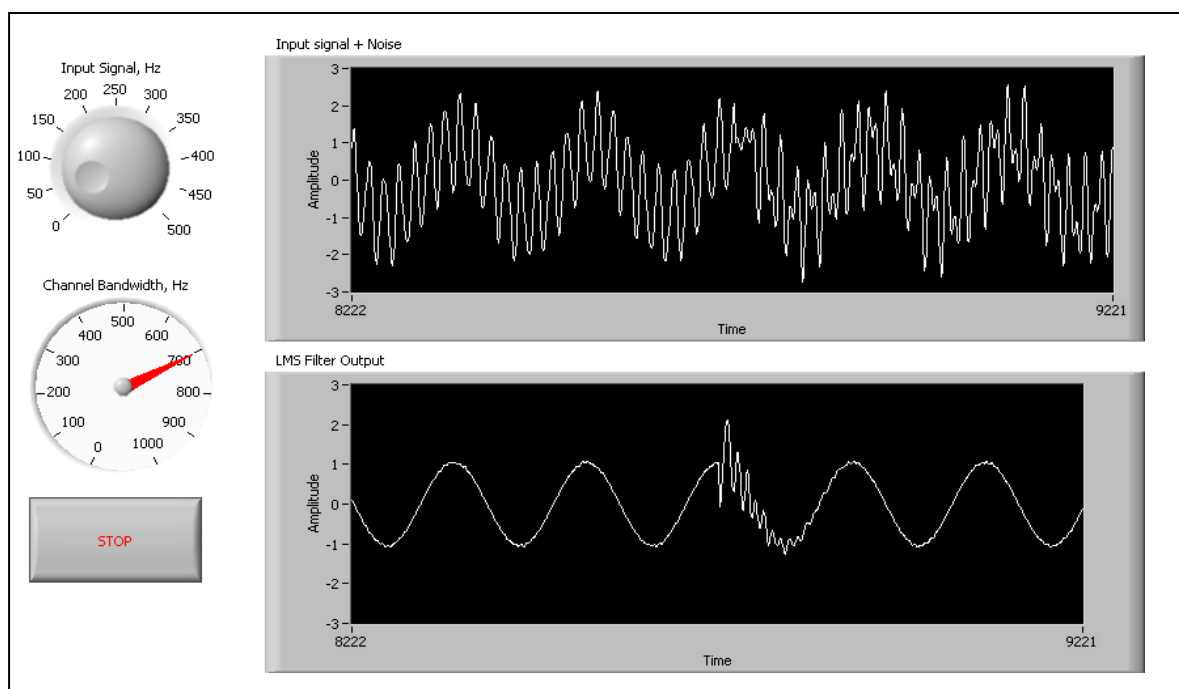


Рис. 9.3. Лицьова панель системи зменшення шумів

Зверніть увагу, що сигнал, очищений від шуму, доступний на виході *Error* (помилка) ВП *LMS*.

При постійному вхідному сигналі (тобто частота 0 Гц), вихідний сигнал адаптивного фільтру дорівнює помилці між шумовим сигналом та опорним шумовим сигналом (рис. 9.4).

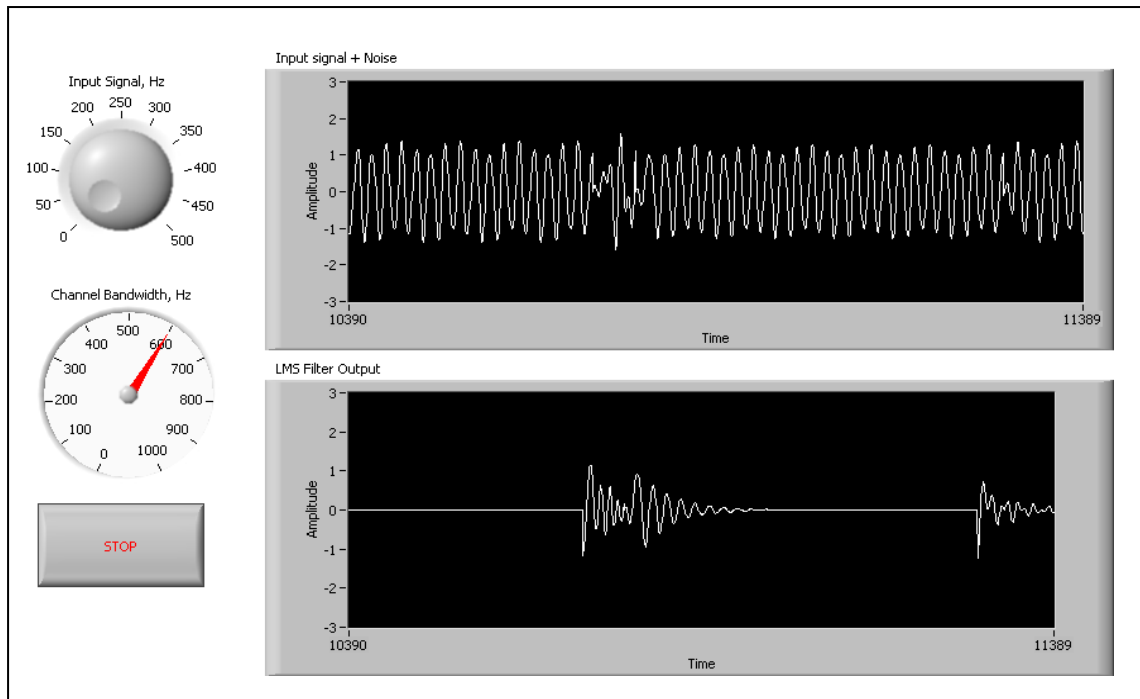


Рис. 9.4. Помилка між вхідним сигналом та вихідним сигналом, звільненим від шуму

### Завдання:

1. Вивчити методи зменшення шуму.
2. Розробити вимірювальний прилад системи зменшення шумів.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10-ТЕСК ШВИДКЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є ТА ВІКОННЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

**Мета:** розробка ВП для реалізації швидкого перетворення Фур'є та віконного перетворення Фур'є у середовищі LabView.

### Програма роботи

1. Ознайомлення з теоретичними основами дискретного перетворення Фур'є та швидкого перетворення Фур'є.
2. . Ознайомлення з теоретичними основами віконного перетворення Фур'є.
3. Побудова віртуального інструмента для дослідження властивостей швидкого та віконного перетворення Фур'є.
4. Складання звіту

### Порядок виконання роботи

**Етап 1. Ознайомлення з теоретичними основами дискретного перетворення Фур'є та швидкого перетворення Фур'є.**

Перетворення сигналів з часової у частотну область широко використовується при обробці сигналів в інформаційно-вимірювальних

системах. Перетворення забезпечує ефективне представлення та спрощує обробку та аналіз даних вимірювань. Наприклад, завдяки еквівалентності операцій згортки у часовій області та множення у частотній області, вихідний сигнал лінійної системи можна знайти простим множенням результату перетворення Фур'є вхідного сигналу на передавальну функцію системи.

Найбільш розповсюдженими на даний час способами перетворення вимірювальних сигналів виявляються наступні:

- 1) швидке перетворення Фур'є (ШПФ);
- 2) віконне перетворення Фур'є (ВПФ);
- 3) дискретне вейвлет-перетворення (ДВП).

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ)  $x[k]$   $N$ -точечного сигналу  $x[n]$  має вигляд:

$$\begin{cases} X[k] = \sum_{m=0}^{N-1} x[m]W_N^{mk}, k = 0, 1, \dots, N-1 \\ x[n] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X[m]W_N^{-nm}, n = 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (10.1)$$

де  $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$

Наведене рівняння перетворення вимагає  $N$  комплексних множень та  $(N-1)$  комплексних сум для кожного члена. Для усіх  $N$  членів необхідно виконати  $N^2$  комплексних множень та  $(N^2-N)$  комплексних операцій сумування. Таким чином, пряме обчислення наведеної формули (10.1) неефективне.

Для швидкого обчислення виразу (10.1) у реальному часі застосовується алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ – укр.; БПФ – рос.; FFT – англ.). ШПФ використовує властивості симетрії дискретного перетворення Фур'є. Існує декілька способів швидкого обчислення дискретного перетворення Фур'є, яким відповідають певні алгоритми ШПФ. Далі розглянемо метод, представлений в *TI Application Report SPRA291* [10], тобто в оригінальній документації щодо використання функцій *LabView*, розроблених *National Instruments*. Даний метод призначений для обчислення  $2N$ -точечного ШПФ. Сутність методу полягає у тому, щоб сформувані два нових  $N$ -точечних сигнала  $x_1[n]$  та  $x_2[n]$  з  $2N$ -точечного сигналу  $g[n]$  шляхом розділення його на парну та непарну частини наступним чином:

$$\begin{aligned} x_1[n] &= g[2n], \quad 0 \leq n \leq N-1; \\ x_2[n] &= g[2n+1]. \end{aligned} \quad (10.2)$$

З послідовностей  $x_1[n]$  та  $x_2[n]$  визначається нова комплексна послідовність  $x[n]$ :

$$x[n] = x_1[n] + jx_2[n], \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (10.3)$$

Для отримання  $G[k]$ , ДПФ сигналу  $g[k]$ , використовується наступне рівняння:

$$\begin{aligned} G[k] &= X[k]A[k] + X[N-k]B[k], \\ k &= 0, 1, \dots, N-1, \text{ при } X[N] = X[0], \end{aligned} \quad (10.4)$$

де

$$A[k] = \frac{1}{2}(1 - jW_{2N}^k); \quad (10.5)$$

$$B[k] = \frac{1}{2}(1 + jW_{2N}^k). \quad (10.6)$$

Згідно формули (10.4) обчислюється тільки  $N$ -точечне  $G[k]$ . Усі інші точки знаходяться за допомогою комплексно-сопряженої  $G[k]$ , тобто  $G[2N-k] = G^*[k]$ . У результаті для обчислення  $2N$ -точечного перетворення використовуються  $N$ -точечні перетворення, що приводить до зменшення числа обчислювальних операцій.

## Етап 2. Ознайомлення з теоретичними основами віконного перетворення Фур'є.

Віконне перетворення Фур'є (ВПФ, або, англійською – STFT) – це наслідок перетворення Фур'є для віконного сигналу. ВПФ надає інформацію щодо частоти в обмеженому часовому інтервалі для ситуацій, коли частотні компоненти сигналу змінюються необмежено у часі тоді, коли звичайне перетворення Фур'є надає таку інформацію, яка усереднена на всьому часовому інтервалі існування сигналу.

Формули для прямого та зворотного ВПФ:

$$\begin{aligned} X_{ВПФ}[m, n] &= \sum_{k=0}^{L-1} x[k]g[k-m]e^{-j2\pi mk/L}; \\ x[n] &= \sum_m \sum_n X_{ВПФ}[m, n]g[k-m]e^{j2\pi mk/L}, \end{aligned} \quad (10.7)$$

де  $x[k]$  – сигнал;  $g[k]$  – функція  $L$ -точкового вікна. З формули (10.7) можна інтерпретувати ВПФ  $x[k]$  як перетворення Фур'є для сигналу  $x[k]g[k-m]$ .

Між розрішенням ВПФ за частотою та за часом існує принцип невизначеності. Тобто, вузьке вікно забезпечує добре розширення у часовій області, але погане – у частотній, та навпаки. Часто ВПФ представляють у вигляді спектрограми – залежності інтенсивності амплітуди ВПФ від часу.

## Етап 3. Побудова віртуального інструмента для дослідження властивостей швидкого та віконного перетворення Фур'є.

Для дослідження різниці між швидким та віконним перетвореннями Фур'є, побудуємо 512-точковий вхідний сигнал, який складається з трьох сигналів:

- 1) синусоида з частотою 75 Гц, дискретизована з частотою 512 Гц;

- 2) сигнал з лінійною частотною модуляцією, частота якого зменшується від 200 до 120 Гц;
- 3) імпульсний сигнал з амплітудою 2, який з'являється на 500-й мілісекунді та розташований на 256 відліку.

Такий складний сигнал показаний на рис. 10.1. На рисунку також показані результати швидкого та віконного перетворень Фур'є.

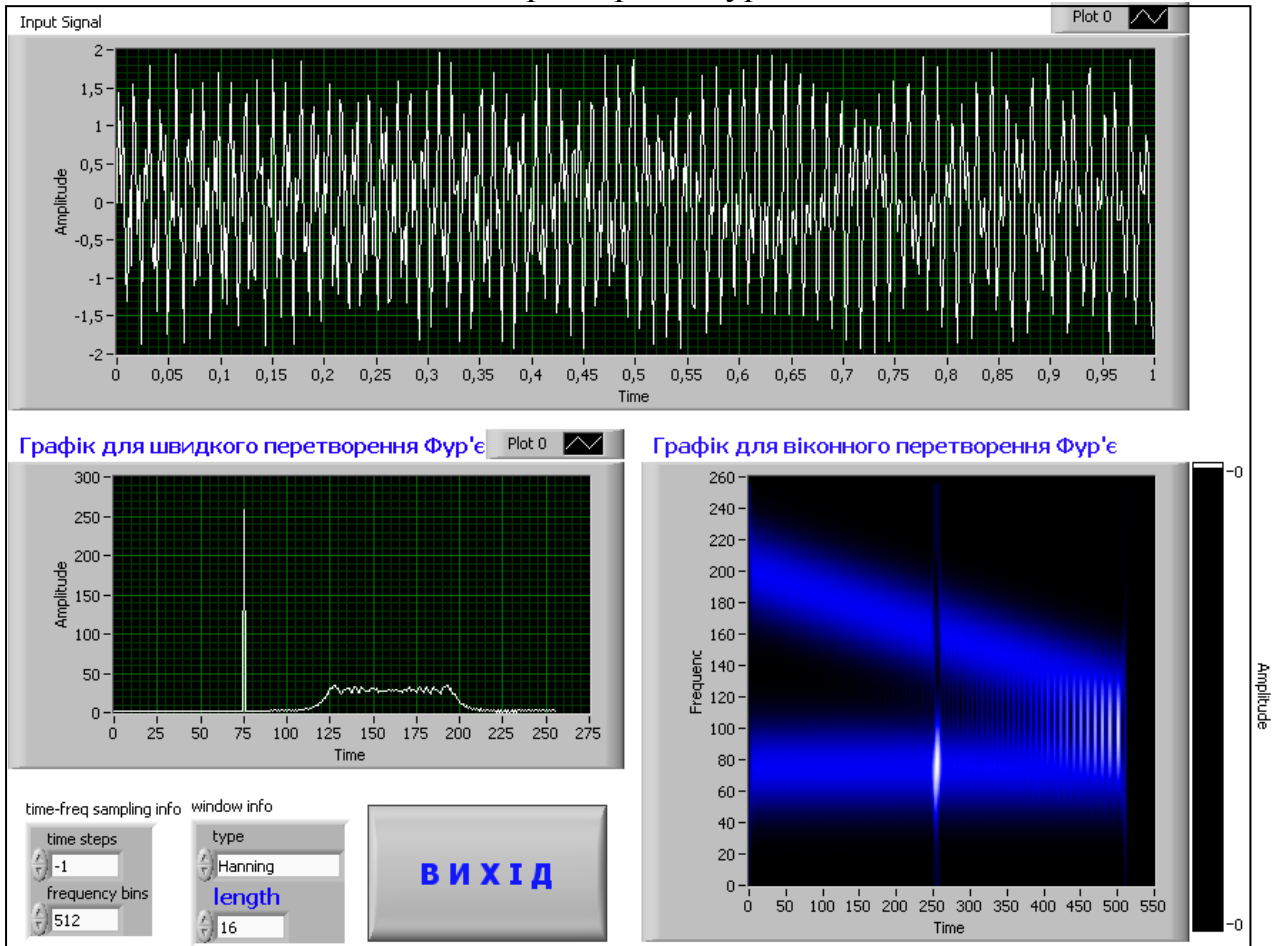


Рис. 10.1. Лицьова панель віртуального інструменту для дослідження швидкого та віконного перетворень Фур'є

На графіку швидкого перетворення Фур'є усереднений за часом спектр вказує на присутність сигналу на частоті від 120 до 200 Гц та один основний пік на 75 Гц. З графіку видно, що короткочасний імпульс не відтворюється у спектрі. На графіку віконного перетворення Фур'є можна розпізнати присутність короткочасного імпульса.

На рис. 10.2 показано декілька спектрограм з часовими вікнами різної ширини. На рис. 10.2, а можна побачити імпульс (вертикальна лінія) у момент часу, який відповідає 500 мс, тому що характеристики вікна відносно локалізовані у часі. Для цього вікна отримано добре розрішення у часовій області, але розрішення у частотній області настільки низьке, що частотні складові синусоїдного сигналу та сигналу з лінійною частотною модуляцією практично не відрізняються. Тут діє принцип невизначеності Гейзенберга, згідно якому при покращенні розрішення за часом погіршується розрішення за частотою.

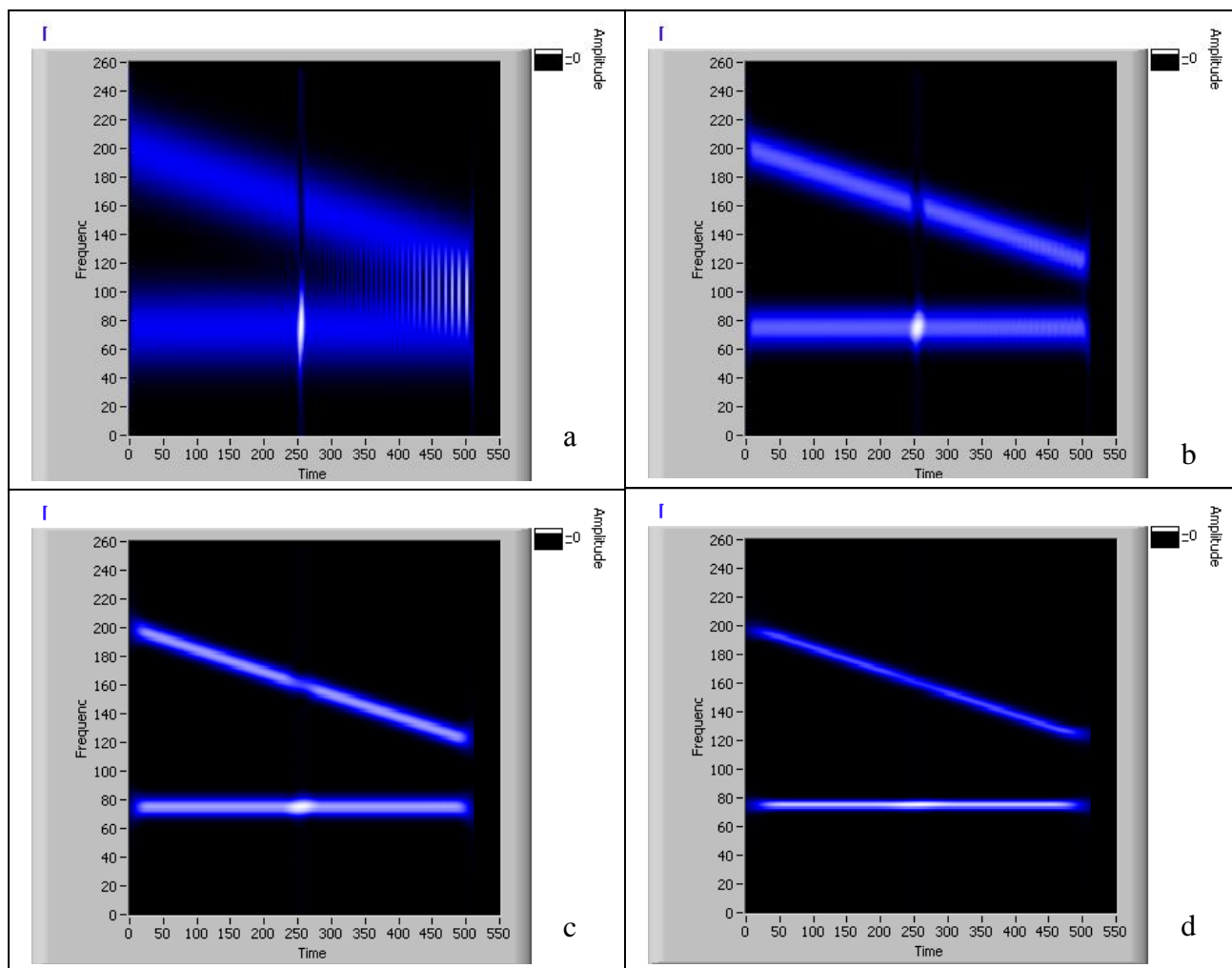


Рис. 10.2. Віконне перетворення з часовими вікнами шириною 16 (a), 32 (b), 64 (c), 128 (d)

Збільшення ширини частотно-часового вікна призводить до покращення розрішення за частотою та погіршення розрішення у часі. В результаті, як видно з рис. 10.2, d, частотне представлення синусоїдного сигналу та сигналу з лінійною частотною модуляцією є більш наглядним. Також видно, що з покращенням розрішення за часом виявляється складніше визначити момент виникнення імпульсу.

Блок-діаграма віртуального інструменту, який відповідає розглянутій лицьовій панелі, зображена на рис. 10.3. Для побудови такого віртуального інструменту необхідно спочатку згенерувати складний вхідний сигнал з наведеними вище характеристиками. Для цього розробимо відповідний віртуальний підприлад (рис. 10.4). Для побудови синусоїди користуємося ВП «Синусоїдний сигнал» з палітри меню *Functions/ Programming/ Waveform/ Analog Waveform/ Waveform Generation/ Sine Waveform*. Сигнал з лінійною частотною модуляцією генерується за допомогою ВП «Зразок сигналу з лінійною частотною модуляцією з палітри меню *Functions/ Signal Processing/ Signal Generation/ Chirp Pattern*.

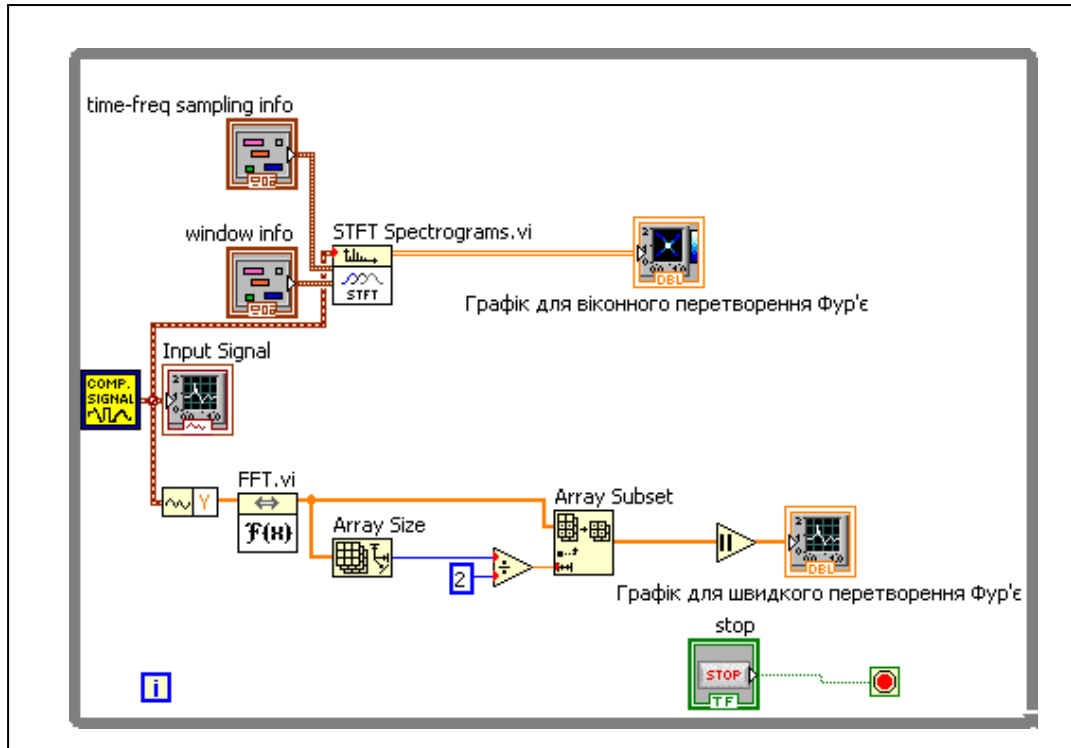


Рис. 10.3. Блок-діаграма швидкого та віконного перетворення Фур'є

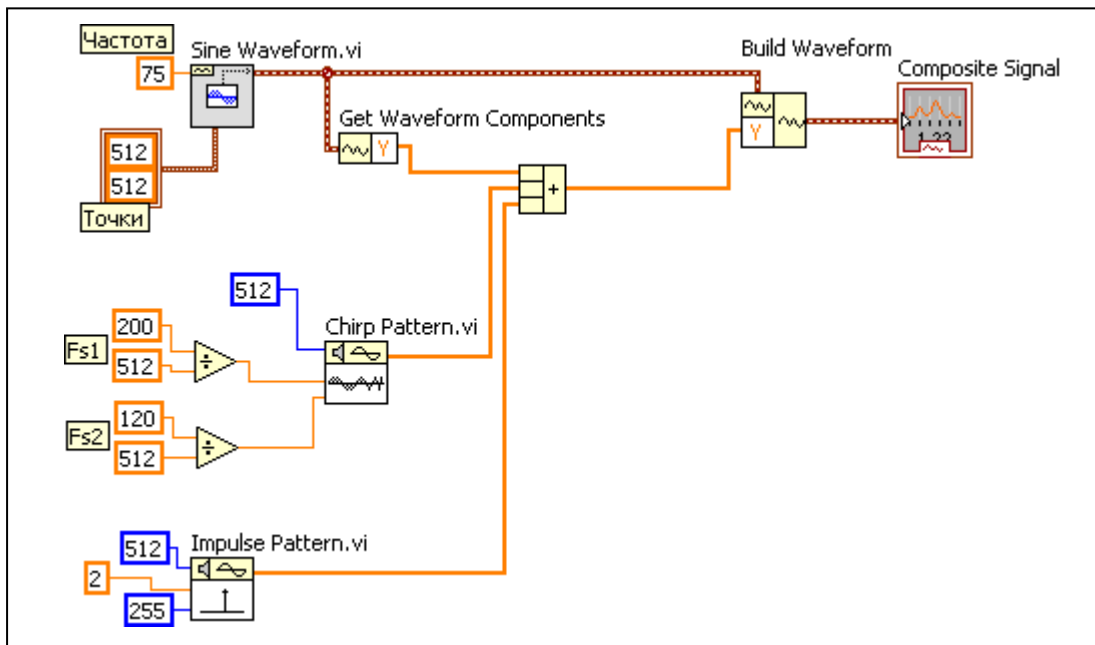


Рис. 10.4. Блок-діаграма для складного вхідного сигналу

Для програмного отримання імпульсу використовується «Зразок імпульсного сигналу з палітри меню *Function/ Signal Processing/ Signal Generation/ Impulse Pattern*. Усі три сигнали поєднуються в один складний сигнал.

Для того, щоб використовувати отриманий складний сигнал у якості джерела вхідного сигналу системи, необхідно поєднати вихід на з'єднувальній панелі віртуального підприладу з індикатором осцилограми (вихідний контакт з'єднувальної панелі повинен фарбуватися у коричневий колір, що відповідає типу даних «кластер»). Після організації з'єднувальної панелі підприладу,



необхідно зробити для нього унікальну іконку та зберегти на диску з відповідним ім'ям.

Далі створіть повну систему перетворення, скориставшись розробленим підприладом. Для цього створіть порожній віртуальний прилад, оберіть команду *Function/ Select a VI...*, після цього відкриється вікно, у якому можна обрати віртуальний прилад та розмістити його у вікні блок-діаграм. Вихід складного сигналу поєднується до трьох віртуальних інструментів: «Графік осцилограми» (*Waveform Graph*); «Швидке перетворення Фур'є» (*FFT*); «Віконне перетворення Фур'є» (*STFT*).

Інструмент для здійснення швидкого перетворення обирається з палітри меню *Functions/ Signal Processing/ Transforms/ FFT*. Для організації віконного перетворення скористаємося інструментом *Functions/ Signal Processing/ Spectral/ STFT*. Для здійснення швидкого перетворення Фур'є використовується тільки перша половина вихідних даних, оскільки інша половина є її дзеркальним відображенням. Розташуйте функцію «Підмасив» та поєднайте до неї половину сигналу. Величина вихідного сигналу швидкого перетворення Фур'є відображається на графіку осцилограми.

Для віконного перетворення Фур'є використовується вхід «Вікно», який вказує, який тип вікна використовується. Для даної програми застосовано вікно Хеннінга, яке передає масив з одиниць. Вихідний сигнал віконного перетворення передається на графік інтенсивності з палітри меню *Controls/ Modern/ Graph/ Intensity Graph*. З контекстного меню графіка інтенсивності відключить опцію *Loose Fit* (Виключити співпадіння) для шкал X та Y. Тоді графік ВПФ розташований у всій області побудови. Включіть автомасштаб інтенсивності: для цього оберіть пункт *Z Scale/ AutoScale Z*.

### **Завдання:**

1. Вивчити особливості застосування дискретного, швидкого та віконного перетворення Фур'є.
2. Розробити вимірювальний прилад для реалізації швидкого та віконного перетворення Фур'є.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1-ТЕСК. Моделювання та масштабування сигналів за допомогою експрес віртуальних інструментів (VI).....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2-ТЕСК Моделювання та масштабування сигналів.....	7
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3-ТЕСК Дослідження ефекту накладання спектрів.....	10
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4-ТЕСК Швидке перетворення Фур'є у середовищі Labview.....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5-ТЕСК Квантування сигналів у середовищі Labview.....	19
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6-ТЕСК Розробка та дослідження системи поновлення сигналів з дискретних відліків .....	23
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7-ТЕСК Розробка та дослідження цифрових фільтрів.....	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8-ТЕСК Розробка та дослідження систем адаптивної фільтрації.....	32
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9-ТЕСК Подавлення шуму .....	40
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10-ТЕСК Швидке перетворення Фур'є та віконне перетворення Фур'є.....	43
ЗМІСТ.....	50

Упорядники:  
Глухова Наталія Вікторівна  
Дороніна Марина Анатоліївна

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни  
«ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ ТА КІЛ»  
(частина 2)  
для студентів спеціальності  
152 - Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
49000, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.